

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



**Ecole Doctorale Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement
(ED-SEV)**

Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar

Année : 2016

N° d'ordre : 213

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Productions et Biotechnologies Animales

Présentée par :

FATMA THIOUB DIOP

**ANALYSE SOCIO-ECONOMIQUE ET
ENVIRONNEMENTALE DE L'UTILISATION DES
BIODIGESTEURS DANS LES PETITS ELEVAGES
LAITIERS DE LA REGION DE KAOLACK**

Soutenue le 13 avril 2016 devant le jury composé de :

Président : M. Bhen Sikina TOGUEBAYE, Professeur à la FST/ UCAD de Dakar

Rapporteurs : M. Georges Anicet OUEDRAOGO, Professeur à l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso

M. Oubri Bassa GBATI, Maître de conférences Agrégé à l'EISMV de Dakar

M. Abdoulaye DIENG, Maître de conférences à l'Université de Thiès/ ENSA de Thiès

Examineurs : M. Alain Richi KAMGA WALADIO, Maître de conférences Agrégé à l'EISMV de Dakar

M. Adama SOW, Maître assistant à l'EISMV de Dakar

Directeur de thèse : M. Germain Jérôme SAWADOGO, Professeur à l'EISMV

DEDICACES

☞ A mon père et à ma mère, pour l'amour et l'éducation que vous nous avez donnés mais aussi pour nous avoir inculqué la foi et le goût du travail.

☞ A mon époux Chérif Assane DIENE, sans toi, je n'aurais, peut-être pas achevé ce travail. Merci d'avoir accepté tant de privations pendant mes fréquentes absences et pour me permettre d'achever ce travail. A travers toi je remercie toute ta famille.

☞ A mon frère jumeau Feu Amadou Makhtar DIOP que Dieu t'accueille en son paradis.

☞ A ma fille Débo, ton sourire a constitué une véritable source d'énergie pour moi. Prend soin du flambeau que nous ont légué les grands-parents ; que Dieu nous donne longue vie pour te prouver mon affection.

☞ A mes sœurs Fatou Makha DIOP, Aïcha et Aby, pour leur constante assistance.

☞ A tous ceux que nous n'avons pas pu citer ici et qui de près ou de loin ont aussi contribué à leur façon à la réussite de ce travail.

☞ A mes frères Papa Sher DIOP, Lat Dior, Mohamed et Bamba, ce travail est aussi le vôtre, recevez ici ma profonde gratitude.

☞ A tous mes oncles et tantes, frères et sœurs, cousins et cousines, neveux et nièces, amis (es) pour votre soutien permanent. Que ce travail constitue pour vous, un culte à la persévérance permanente.

☞ A Monsieur Cheikh Tidiane DIOP Directeur de Cabinet du Ministère de l'Élevage et des Productions Animales, pour son soutien et ses conseils.

☞ A mon collègue Abdoulaye DIAWARA pour les conseils, l'appui et l'accompagnement tout au long de la préparation de cette thèse. Trouvez ici mes remerciements les plus sincères et ma profonde reconnaissance.

☞ A tous les collègues du Ministère de l'élevage et des productions animales : Moussa MBAYE, Fatoumata Diop BAKHOUM, Bachir COLY, Aminata DRAME, Amadou NDIAYE, Binetou AIDARA, Fatima BA, Ndeye Fatou THIAW, Oumou DIALLO, Aminata DIAGNE, Ndeye Safiétou DIOP, Mme BADJI, Babacar POUYE, Pape Cheikh GUEYE.

REMERCIEMENTS

Je remercie le Bon Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, de m'avoir permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.

Je tiens à remercier très sincèrement les personnes qui ont accepté de se réunir pour juger ce travail ; Chers maîtres, au-delà de ce jury, vous avez tous contribué à ma formation.

- Ce travail n'aurait pas vu le jour sans l'appui des personnes et des institutions qui ont mis leur confiance en ma modeste personne et en mes capacités de suivre cette aventure fascinante de conduire une thèse de doctorat unique, PhD. Qu'elles trouvent ici l'expression de ma gratitude et de mes sincères remerciements ;
- A mon Maître et Directeur de thèse Professeur Germain Jérôme SAWADOGO, Chef du Service de Biochimie à l'EISMV de Dakar. Vous avez dirigé sans réserve les travaux en mains de maître et avez assuré mon encadrement sans faille pendant ces trois dernières années. Malgré vos multiples charges, vous avez su toujours bien vous soucier et vous occuper de moi de façon quasi-constante du début jusqu'à la fin de cette thèse, merci pour tous les efforts que vous avez déployés pour guider ce travail. Veuillez bien trouver ici l'expression de ma profonde et sincère gratitude ;
- A mon Maître et Co-directeur, Dr. Abdrahmane WANE chercheur au CIRAD basé à l'ILRI, d'avoir cru en moi, en m'encadrant avec toute la rigueur qu'il faut dans ce travail de thèse malgré ses multiples occupations. Les moments passés ensemble m'ont permis de découvrir en vous la simplicité, la générosité, la rigueur scientifique et l'amour du travail bien fait. La bienveillance et la totale disponibilité que vous avez toujours manifestées à mon égard à chaque sollicitation durant notre travail m'ont particulièrement marqué. Veuillez trouver ici l'assurance de ma profonde admiration et de ma sincère reconnaissance ;
- A tous les rapporteurs, et à tous les membres de jury de cette thèse pour avoir consacré leur temps et leur compétence à la lecture minutieuse et critique et à l'amélioration de notre travail ;
- A la coordination régionale du projet d'appui à l'amélioration durable de la productivité et de la compétitivité des filières laitières bovines en Afrique de l'Ouest et du Centre (AMPROLAIT) et à tous les membres de l'équipe de recherche AMPROLAIT, notamment Dr Adama SOW, Dr Miguiri KALANDI, Dr Khadijatou DIENG, etc. pour leur dévouement et leur contribution ;
- Au conseil ouest africain pour la recherche et le développement agricole (CORAF) pour avoir financé cette étude à travers le projet AMPROLAIT ;

- Aux membres du PNB particulièrement à Makhtar Sylla et Mor NIAYE pour leur appui constant ;
- A l'équipe SELMET du CIRAD de Montpellier pour l'accueil et l'hospitalité durant mes différents stages ;
- A toute l'équipe du PPZS ;
- A Messieurs Samir MESSAD, Biostatisticien et Aliou Diouf MBALLO, statisticien-économiste qui m'ont apporté des appuis en traitement des données ;
- Tous mes remerciements à messieurs Philippe Lecomte, Johann Huguenin et Alain Lemasson pour les conseils lors du montage du projet de recherche ;
- A tous les producteurs de lait de la région de Kaolack et les différents utilisateurs de biodigesteurs, pour les informations qu'ils ont accepté de fournir dans la réalisation de ce travail ;
- A tous les collègues du Ministère de l'Elevage et des Productions Animales.

Liste des tableaux

Tableau I : Effectif du cheptel en 2015 et taux de croît par espèce	9
Tableau II : Evolution de la production locale de lait (en millions de litres).....	15
Tableau III : Teneurs approximatives en azote, phosphore et potassium (NPK) de différents fumiers.....	21
Tableau IV : Potentiel de production de biogaz à partir de matières brutes	45
Tableau V : Taille des ménages enquêtés	55
Tableau VI : Activités des chefs de ménage	57
Tableau VII : Superficies cultivées dans les exploitations.....	58
Tableau VIII : Nombre de têtes de bovins	58
Tableau IX : Niveau de fonctionnalité des biodigesteurs.....	60
Tableau X : Caractéristiques des biodigesteurs.....	67
Tableau XI : Répartition des adoptants selon le sexe.....	75
Tableau XII : Comparaison de l'âge des adoptants et des non adoptants	75
Tableau XIII : Estimation des variables explicatives.....	77
Tableau XIV : Estimation des variables par le modèle de régression logistique	78
Tableau XV : Estimation des variables du modèle affiné	78
Tableau XVI : Probabilité d'utilisation du biodigesteur en fonction des variables	79
Tableau XVII : ratio d'inertie.....	86
Tableau XVIII : Liste des indicateurs utilisés pour évaluer les performances des biodigesteurs ..	87
Tableau XIX : Typologie des exploitations	90

Liste des figures

Figure 1 : Principaux systèmes de production laitière au Sénégal	11
Figure 2 : Part des différentes régions dans la production nationale de lait cru	16
Figure 3 : Digesteur de type indien	41
Figure 4 : Schéma d'un digesteur de type chinois	42
Figure 5 : Digesteur à piston	42
Figure 6 : Schéma d'un digesteur mixte	43
Figure 7 : Un digesteur dans une exploitation à Kaolack	43
Figure 8 : Valorisation énergétique du biogaz	47
Figure 9 : Schéma du concept de Développement Durable	49
Figure 10 : Localisation de la zone d'étude sur la carte du Sénégal	52
Figure 11 : Age des chefs de ménages enquêtés	56
Figure 12 : Répartition de l'âge des chefs de ménages en fonction du sexe.....	57
Figure 13 : Sources d'énergie utilisée dans les ménages	59
Figure 14 : Répartition des biodigesteurs en fonction de la capacité.....	60
Figure 15 : Causes du non fonctionnement des biodigesteurs	61
Figure 16 : Avantages du biodigesteur.....	62
Figure 17 : Temps destiné à la recherche de bois des ménages enquêtés	63
Figure 18 : Temps destiné à la cuisson des ménages	63
Figure 19 : Utilisation du biogaz.....	64
Figure 20 : Fréquence des pathologies liées à la fumée.....	65
Figure 21 : destination du compost	65
Figure 22 : Adoption des biodigesteurs selon le niveau d'instruction	76

Figure 23 : Diagramme des valeurs propres de l'AFM biodigesteurs	86
Figure 24 : Projection des individus et des groupes sur les axes factoriels	88
Figure 25 : Evaluation de l'impact social du biodigesteur pour chaque type d'exploitations	91
Figure 26 : Evaluation de l'impact économique du biodigesteur pour chaque type d'exploitations.....	92
Figure 27 : Evaluation de l'impact environnemental du biodigesteur pour chaque type d'exploitations.....	93

LISTE DES ACRONYMES

AIE : Agence Internationale de l'Energie

AMPROLAIT : Appui à l'amélioration durable de la productivité et de la compétitivité des filières laitières bovines en Afrique de l'ouest et du centre

ANCAR : Agence Nationale de Conseil Agricole et Rurale

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

CEDEAO : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

CEP : Cellule des Etudes et de la Planification

CH₄ : Méthane

CIMEL : Centre d'Impulsion pour la Modernisation de l'Elevage

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CO₂ : dioxyde de carbone

CORAF : Conseil Ouest Africain pour la Recherche et le développement Agricole

CSAO : Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest

DHCD : Direction des Hydrocarbures et des Combustibles Domestiques

DPEE : Direction de la Prévision et des Etudes Economiques

EISMV : Ecole Inter Etats des Sciences et Médecine Vétérinaire

e/KWh : Euro par kilowatt heure

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FCFA : Franc de la Communauté Financière Africaine

GES : Gaz à Effet de Serre

GOANA : Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

Ha : hectare

H₂O : Eau

H₂S : Sulfure d'hydrogène

Kg : Kilogramme

Km : Kilomètre

Km² : Kilomètre carré

kVA : Kilo Voltampère

kWh : Kilo Watt Heure

L Eq lait : Litre Equivalent lait

MDTF : Multi Donors Trusts Fund

MEPA : Ministère de l'Élevage et des Productions Animales

m³ : Mètre cube

mn : Minute

NPK : Azote-Phosphore-potassium

O₂ : Dioxygène

OCDE : Organisation de Coopération et de développement Economique

PASER : Programme d'Actions Sénégalais d'Electrification Rurale

pH : Potentiel Hydrogène

PIB : Produit Intérieur Brut

PNB-SN : programme National de biogaz-Sénégal

PRODELAIT : Programme National de Développement de la Filière Laitière locale

RGPHAE : Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage

SNV : Société Nationale des Volontaires

Tep : Tonnes équivalent pétrole

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée

UE : Union Européenne

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Problématique de recherche	5
Objectifs de l'étude	6
PREMIÈRE PARTIE : ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES PRODUCTIONS ANIMALES ET LES BIODIGESTEURS DANS LE MONDE ET AU SÉNÉGAL.....	8
CHAPITRE I : PRODUCTIONS ANIMALES AU SENEGAL.....	9
1.1 INTRODUCTION	9
1.2 PLACE DES PRODUCTIONS ANIMALES	10
1.2.1 Zones écologiques et systèmes d'élevage	10
1.2.2 Importance économique des productions animales et l'évolution de la production.....	12
1.3 PRODUCTION LAITIERE BOVINE AU SENEGAL	13
1.3.1 Contribution des produits laitiers dans la sécurité alimentaire.....	13
1.3.2 Politiques d'amélioration de la production laitière locale	14
1.4 SYSTEMES D'ELEVAGE ET DE GESTION DES EFFLUENTS D'ELEVAGE.....	17
1.4.1 Gestion des effluents d'élevage	18
1.4.2 Composition du fumier	20
1.4.3 Principales utilisations du fumier	21
1.4.3.1 Utilisation du fumier comme combustible	21
1.4.3.2 Utilisation de la bouse de vache comme un matériau de construction.....	21
1.4.3.3 Utilisation du fumier comme engrais	22
1.4.3.4 Utilisation de la bouse dans la médecine.....	23
CHAPITRE II : LA GESTION DE L'ENERGIE AU SENEGAL.....	24
2.1 INTRODUCTION	24
2.2 TENDANCE DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS L'ECONOMIE NATIONALE.....	24
2.2.1 Besoins énergétiques du Sénégal.....	24
2.2.2 Consommation énergétique au Sénégal.....	25
2.3 PROBLEMATIQUE DE L'ENERGIE EN MILIEU RURAL	27
2.3.1 Contexte énergétique en milieu rural.....	27
2.3.2 Exploitation de l'énergie par les femmes	28

CHAPITRE III : RAPPELS DES PROCESSUS FONDAMENTAUX DES BIODIGESTEURS	30
3.1 INTRODUCTION	30
3.2 METHANISATION.....	30
3.2.1 Définition de la méthanisation.....	30
3.2.2 Origine de la méthanisation.....	31
3.3 METHANISATION DANS LE MONDE	32
3.3.1 En Europe	32
3.3.2 En Asie	35
3.3.3 En Afrique	37
3.4 CARACTERISTIQUES DES BIODIGESTEURS.....	39
3.4.1 Différents types de biodigesteurs	41
3.4.1.1 Digesteurs de type indien	41
3.4.1.2 Digesteurs de type chinois.....	41
3.4.1.3 Digesteurs à pistons	42
3.4.1.4 Digesteurs mixtes	43
3.4.2 Capacités des biodigesteurs et niveaux de production	44
3.5 VALORISATION DU BIOGAZ	45
3.6 CONCLUSION.....	48
DEUXIEME PARTIE : TRAVAIL EXPERIMENTAL	50

CHAPITRE IV : CARACTERISTIQUES GENERALES DES MENAGES UTILISATEURS DE BIODIGESTEURS DANS LA REGION DE KAOLACK	51
4.1 INTRODUCTION	51
4.2 MATERIELS ET METHODES	51
4.2.1 Site de l'étude	51
4.2.2 Echantillonnage	53
4.2.3 Enquête de terrain.....	54
4.2.4 Analyses statistiques des données	54
4.3 RESULTATS DE L'ENQUETE.....	55
4.3.1 Taille moyenne des ménages	55
4.3.2 Genre des exploitants.....	56
4.3.3 Activités des chefs de ménages	57
4.3.4 Les productions agricoles et animales dans les exploitations enquêtées.....	58

4.3.5	Le niveau d’instruction	59
4.3.6	Sources d’énergie utilisée dans les ménages	59
4.4	CARACTERISTIQUES DES BIODIGESTEURS	60
4.4.1	Causes de non fonctionnalité des biodigesteurs	61
4.4.2	Intérêts du biodigesteur	62
4.4.2.1	Gain de temps	62
4.4.2.2	Apports énergétiques du biodigesteur	64
4.4.2.3	Réduction des pathologies liées à la fumée	64
4.4.2.4	Les avantages économiques de l’utilisation du biogaz.....	65
4.5	DISCUSSION	69
4.5.1	Taille des ménages.....	69
4.5.2	Genre des exploitants.....	69
4.5.3	Activités des chefs de ménages	69
4.5.4	Productions agricoles et animales dans les exploitations enquêtées	69
4.5.5	Niveau d’instruction	70
4.5.6	Sources d’énergie utilisée dans les ménages	70
4.5.7	Caractéristiques des biodigesteurs.....	70
4.5.8	Causes de non fonctionnalité des biodigesteurs	70
4.5.9	Intérêts du biodigesteur	71
4.5.9.1	Gain de temps	71
4.5.9.2	Apports énergétiques du biodigesteur	71
4.5.9.3	Réduction des pathologies liées à la fumée	71
4.5.9.4	Avantages économiques de l’utilisation du biogaz	72
4.6	CONCLUSION PARTIELLE.....	72
	CHAPITRE V : CARACTERISATION DES FACTEURS D’ADOPTION DU BIODIGESTEUR.....	73
5.1	INTRODUCTION	73
5.2	MATERIEL ET METHODES	73
5.2.1	Matériel.....	73
5.2.2	Méthodes	74
5.3	RESULTATS	75
5.3.1	Caractéristiques sociodémographiques des exploitations selon l’adoption des biodigesteurs.....	75
5.3.2.1	Le sexe.....	75
5.3.1.2	L’âge.....	75

5.3.1.3	Le niveau d’instruction.....	76
5.3.2	Facteurs explicatifs de l’utilisation de biodigesteur	76
5.3.2.1	Sélection des variables explicatives	76
5.3.2.2	Estimation du modèle global	77
5.4	DISCUSSIONS	79
5.4.1	Caractéristiques sociodémographiques des exploitations selon l’adoption des biodigesteurs.....	80
5.4.1.1	Le sexe.....	80
5.4.1.2	L’âge.....	80
5.4.1.3	Le niveau d’instruction.....	80
5.4.2	Facteurs explicatifs de l’utilisation de biodigesteur	81
5.5	CONCLUSION PARTIELLE.....	82
CHAPITRE VI : TYPOLOGIE DES EXPLOITATIONS AVEC BIODIGESTEUR ET LES IMPACTS DE SON UTILISATION.....		83
6.1	INTRODUCTION	83
6.2	MATERIEL ET METHODES	83
6.2.1	Matériel.....	83
6.2.2	Méthodologie.....	84
6.2.2.1	Méthodologie de construction de la typologie	84
a)	Codage des variables	85
b)	Définition des groupes.....	86
6.2.2.2	Méthodes d’études des impacts de l’utilisation des biodigesteurs	86
a)	Choix de l’échantillon.....	87
b)	Critères d’évaluation des performances des biodigesteurs.....	87
c)	Evaluation des impacts du biodigesteur dans chaque groupe.....	88
6.3	RESULTATS	88
6.3.1	Typologie des exploitations utilisatrices de biodigesteurs	88
6.3.2	Impacts de l’utilisation des biodigesteurs.....	91
6.3.2.1	Impacts sociaux	91
6.3.2.2	Impacts économiques	92
6.3.2.3	Impacts environnementaux.....	92
6.4	DISCUSSION	93
6.4.1	Typologie des exploitations utilisatrices de biodigesteurs	93
6.4.2	Impacts de l’utilisation des biodigesteurs.....	95

6.5 CONCLUSION PARTIELLE.....	96
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	97
BIBLIOGRAPHIE	102
ANNEXES.....	116

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'élevage joue un rôle central dans l'économie des pays ouest-africains avec une contribution au PIB agricole allant parfois jusqu'à 44 %. Avec plus de 60 millions de têtes de bovins et 160 millions de petits ruminants, 400 millions de volailles, le Sahel et l'Afrique de l'Ouest s'illustrent comme une région d'élevage par excellence (CEDEAO-CSAO/OCDE, 2008). Sur le plan numérique, et par rapport à l'effectif total en Afrique subsaharienne, cette région compte pour 25 % de bovins, 33 % d'ovins et 40 % de caprins (CEDEAO-CSAO/OCDE, 2008). En Afrique subsaharienne, l'urbanisation galopante, la croissance accélérée de la population, les changements politiques et la libéralisation économique et commerciale ont contribué à la croissance économique. Dans les pays en développement, cette croissance s'est traduite par une augmentation des revenus par tête et par l'émergence d'une classe moyenne dont le pouvoir d'achat dépasse les besoins de base (Steinfeld *et al*, 2009). Cette augmentation de revenus fait que la demande en produits d'origine animale augmente.

Au Sénégal, le secteur agricole emploie environ 70% de la population, 50% de la population active et contribue à 18% à la création de richesse nationale (ANSD, 2011). La diminution de la pluviométrie et la crise du secteur de l'arachide, principale culture de rente du pays, ont ramené la contribution de l'agriculture en-dessous du seuil de 20% du PIB. Dans le secteur primaire, l'activité d'élevage représente 28,8% du PIB agricole et contribue significativement aux revenus des ménages et à la création d'emplois (ANSD, 2014). Depuis 1987, le sous-secteur de l'élevage connaît une progression régulière avec une croissance annuelle de 3% en moyenne, avec un niveau exceptionnel de 6% en 2000. Il occupe 350 000 familles au Sénégal soit environ 3 000 000 d'individus issus pour la plupart des couches les plus vulnérables du monde rural (Diarra, 2009). Ils appartiennent majoritairement à des communautés qui dépendent des ressources naturelles pour leur subsistance. De ce fait, l'accès aux moyens d'existence est affecté par la variabilité climatique, la dégradation des ressources naturelles et les conflits pour l'accès à celles-ci (Fokou *et al*, 2011). Les femmes et les jeunes sont fortement impliqués dans l'élevage des espèces à cycle court (petits ruminants et volailles). Les enquêtes auprès des ménages confirment que le bétail constitue une richesse essentielle au Sénégal, puisque dans l'ensemble, 28,2% des ménages au niveau national pratiquent l'élevage, notamment 73,9% du total des ménages pratiquant l'élevage résident en milieu rural contre 26,1% en milieu urbain. Au-delà de sa contribution directe aux revenus des ménages, l'élevage fournit une variété de bénéfices : du lait, de la viande, des peaux, des animaux reproducteurs, un travail de traction, du fumier et l'entretien des espaces ouverts et des sous-produits faiblement valorisés. Le fumier, matière organique issue des déjections (excrément et urine d'animaux), l'est davantage.

Par ailleurs, le déficit énergétique est aujourd'hui un frein majeur au développement de nombreux pays du Sud. L'accès à l'énergie est devenu un axe stratégique des politiques de développement économique des États, notamment par le développement des énergies renouvelables (Blin *et al*, 2013). Plus de la moitié de la population mondiale utilisent des combustibles de biomasse solide (bois) pour les besoins énergétiques domestiques, comme la cuisine et l'éclairage. Dans les pays d'Afrique subsaharienne, plus de 70% de l'ensemble de la population dépendent du bois comme combustible (Dohoo *et al*, 2013). Et en Afrique de l'Ouest, plus de 80% de l'énergie domestique des pays est assurée par la biomasse (bois de feu et charbon de bois) (Blin *et al*, 2013).

Le déficit énergétique en milieu rural, notamment au niveau de l'énergie de cuisson et de l'éclairage domestique, constitue une contrainte à l'épanouissement des ménages. Jusqu'à 90% des ménages ruraux dans les pays en développement comptent sur les biocombustibles solides pour la production d'énergie domestique (Bruce *et al*, 2002). Les femmes utilisent le bois de chauffe pour les différents besoins énergétiques. Avec la déforestation, les femmes rurales ont de plus en plus des difficultés pour assurer les besoins journaliers en combustible. La combustion du bois de chauffe peut avoir des effets nocifs sur la santé de la mère et des enfants, le développement économique et l'écologie locale (Dincer, 1999).

Au Sénégal, la demande en énergie de cuisson est d'autant plus importante pour les élevages qui produisent du lait et pour les éleveurs qui souhaitent le commercialiser car il faut normalement procéder à la pasteurisation. En effet, ce secteur de l'élevage qui, constitue la principale source de revenus dans les zones à vocation pastorale, a contribué pour 4,1% du PIB du Sénégal (ANSD, 2011). La production laitière, au Sénégal, est estimée à 205 millions de litres par an (CEP, MEPA, 2015) provenant essentiellement de l'élevage traditionnel qui est fortement tributaire des conditions climatiques. Cette production plus abondante en période hivernale subit de grandes pertes du fait de manque d'énergie pour la transformation et la conservation.

Le cheptel du Sénégal est estimé en 2015 à 3,516 millions de bovins et 12,050 millions de têtes de petits ruminants dont 6,496 millions d'ovins et 5,554 millions de caprins (CEP, MEPA, 2015) produisant de grandes quantités de fumures organiques valorisées dans l'agriculture.

L'enjeu pour les pays en développement est aujourd'hui de passer d'un usage domestique de la biomasse énergie à un usage moderne permettant de fournir une énergie de production indispensable au développement économique et social. En effet malgré leur abondance sur le continent africain, beaucoup de ressources naturelles et de matières premières ne sont pas

valorisées et transformées en produits à haute valeur ajoutée faute d'accès à une énergie de puissance à un coût abordable.

Les régions qui dépendent principalement de l'agriculture et de l'élevage dans les pays en développement peuvent faire face à une forte pression liée à :

- L'accès à l'énergie : par exemple, en Afrique, on estime que 68% de la population vivent sans installations de cuisson propres et l'accès à l'énergie joue un rôle clé dans la lutte contre la pauvreté (Wahidul et Lucas, 1997).
- L'épuisement des ressources : si un ménage utilise du bois de chauffage pour la cuisine, l'épuisement des forêts dans certaines régions rend la collecte de bois de feu plus difficile.
- L'atténuation des changements climatiques : l'agriculture (à savoir la production de produits végétaux et animaux) représente 13,5% des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES), et les systèmes extensifs sont parfois reprochés d'être moins efficaces que ceux à forte intensité quand il s'agit d'atténuer le changement climatique (FAO, 2011).

Les activités d'élevage génèrent des quantités importantes de déchets qui constituent une nuisance pour l'environnement. Pour toutes les filières de productions animales confondues, les émissions de GES s'élèvent à 7,1 gigatonnes d'équivalent CO₂ par an, soit 14,5% de toutes les émissions d'origine anthropique (Gerber *et al*, 2014).

Les principales sources d'émissions de gaz à effet de serre de l'élevage sont :

- la production et la transformation de fourrage (4% du total),
- la digestion des bovins (39%)
- la décomposition du fumier (10%)
- le reste est imputable à la transformation et au transport des produits animaux.

En Afrique subsaharienne, les quantités importantes de déchets font que le bilan des gaz à effet de serre est plus élevé (Gerber *et al*, 2014).

Dans cette problématique et dans un contexte de nécessaire réduction des émissions de gaz à effet de serre, de déficit énergétique notamment dans l'utilisation de produits organiques pour se substituer aux bois de cuisson et de déclaration d'intention autour du développement durable, une meilleure gestion des résidus organiques à travers des procédés de méthanisation peut apparaître comme une alternative prioritaire et pertinente (Béline *et al*, 2013).

C'est dans ce cadre qu'un programme a été initié au Sénégal depuis 2009 pour résoudre les difficultés d'accès au bois de chauffe par les ménages ruraux et portant sur une source d'énergie innovante : le biogaz. Ce Programme National du Biogaz Domestique du Sénégal a déjà installé 72 biodigesteurs dans la région de Kaolack, zone d'intervention du projet d'Appui à l'amélioration durable de la productivité et de la compétitivité des filières laitières bovines en Afrique de l'Ouest et du Centre (AMPROLAIT) qui est le partenaire technique et financier de cette étude. Ce projet est mis en œuvre dans cinq pays de l'Afrique de l'Ouest dont le Burkina Faso, le Cameroun, le Niger, le Sénégal et le Tchad, sur financement de la Banque Mondiale à travers les Fonds Compétitifs Multi Donors Trusts Fund (MDTF) et coordonné par le CORAF/WECARD.

L'intérêt principal de ce volet biodigesteur du projet AMPROLAIT était de produire de l'énergie en quantité suffisante de façon à répondre aux besoins de cuisson et d'éclairage des populations en milieu rural, d'assurer une meilleure qualité de la transformation et de la conservation du lait, mais également de permettre la valorisation des effluents d'élevage et une bonne gestion de l'environnement.

Ces déchets, riches en matière organique, peuvent être recyclés et transformés par des procédés biotechnologiques qui constituent une solution de choix pour remédier aux problèmes de pollution (Saidi et Abada, 2007). Une des technologies permettant efficacement le traitement de la fraction organique de ces déchets est la biométhanisation.

Problématique de recherche

La demande croissante en lait et en viande ouvre des opportunités de développement pour les filières de ruminants mais dans le même temps les systèmes d'élevage sénégalais sont caractérisés par une grande diversité, une productivité et une compétitivité souvent faibles.

La fonction première de l'élevage reste de nourrir les populations avec des produits répondant aux besoins et demandes des consommateurs. Ce qui ouvre des perspectives intéressantes dans le secteur laitier mais aussi dans celui de la viande. Par ailleurs il faut rappeler que le ruminant est un animal transformant des fourrages inutilisables par l'homme en une source de nutriments à haute valeur nutritionnelle, technologique et sensorielle (Peyraud *et al*, 2013).

Ces avantages ne doivent cependant pas occulter un certain nombre de menaces, au premier rang desquelles la remise en cause des productions animales en raison de leur faible efficacité, de leurs émissions et rejets élevés ainsi que des conditions de vie des animaux. Ces filières sont

aussi confrontées à des critiques parfois virulentes quant à leur impact sur l'environnement et la santé et le métier d'éleveur semble moins attractif que par le passé. D'où la recherche de moyens qui permettent de recycler les effluents d'élevage en produisant une énergie renouvelable et propre avec le procédé de méthanisation.

Ces biodigesteurs permettent donc de régler les problèmes de l'électrification dans les élevages, de l'énergie pour la cuisson des ménages et de la pasteurisation du lait en particulier pour les élevages laitiers. Ils permettent par ailleurs la résolution des problèmes environnementaux que sont les nuisances olfactives avec l'émission de mauvaises odeurs, les bruits, les mouches et les pollutions de l'eau et des sols dues au stockage des déjections animales.

Ils contribuent aussi à la réduction de la déforestation puisque près de 90 % des ménages ruraux dans les pays en développement comptent sur les biocombustibles solides pour la production d'énergie domestique (Bruce *et al*, 2002). Le biodigesteur permet aussi la réduction des effets nocifs de la combustion du bois de chauffe sur la santé de la mère et des enfants, le développement économique et l'écologie locale (Dincer, 1999).

Ces constats énumérés ci-dessus nous amènent à poser la question suivante qui constitue notre axe de recherche : « quelles sont les pratiques d'utilisation d'un biodigesteur, les raisons de l'adoption de cet équipement, les effets sur l'exploitation agro-pastorale et ses impacts économiques, environnementaux et sociaux dans la région de Kaolack ? »

Plus précisément, quels types d'impacts l'utilisation du biodigesteur permet-elle de constater dans les exploitations agro-pastorales ?

L'hypothèse qui découle de cette question est que : « les biodigesteurs ont un impact socioéconomique et environnemental certain sur les petits élevages producteurs de lait de la région de Kaolack ».

Cette question principale a permis de poser les objectifs de recherche.

Objectifs de l'étude

L'objectif de ce travail de recherche est d'analyser sur les plans socioéconomique et environnemental les effets de l'utilisation des biodigesteurs dans les petits élevages producteurs de lait de la région de Kaolack.

De manière spécifique, il s'agit de :

- 1) décrire les modes d'utilisation des biodigesteurs dans les ménages ;
- 2) identifier le niveau d'acceptabilité et le processus d'appropriation de cette innovation technologique ;
- 3) ressortir les impacts du biodigesteur sur le ménage agropastoral.

Cette étude est structurée en deux parties. Une étude bibliographique dans la première partie fait le point sur l'état des connaissances sur les productions animales et les biodigesteurs dans le monde et au Sénégal. Trois chapitres sont passés en revue : les productions animales au Sénégal, l'énergie au Sénégal et un rappel des processus fondamentaux des biodigesteurs.

La deuxième partie est consacrée à la présentation du travail expérimental avec trois chapitres dont le premier aborde les caractéristiques générales des ménages enquêtés, le deuxième chapitre est centré essentiellement sur la caractérisation des facteurs d'adoption du biodigesteur et le troisième chapitre présente la typologie des ménages utilisateurs des biodigesteurs et les impacts de son utilisation.

**PREMIÈRE PARTIE : ETAT DES
CONNAISSANCES SUR LES
PRODUCTIONS ANIMALES ET LES
BIODIGESTEURS**

Chapitre I : Productions animales au Sénégal

1.1 Introduction

Les productions animales ont connu en Afrique au Sud du Sahara un développement remarquable. Dans les pays du Sud, les productions animales prennent une place de plus en plus grande, nécessitant de procéder à une amélioration quantitative et qualitative des capacités de production sans commune mesure avec les décennies précédentes (Faye et Alary, 2001). La croissance des villes entraîne, en effet, le développement local de filières agricoles, car les villes constituent d'importants pôles de consommation pour les productions végétales, animales (viande, lait et produits laitiers) et halieutiques. Ces différentes productions contribuent à relever le défi de la sécurité alimentaire auquel les villes sont confrontées (Gomgnimbou *et al*, 2014). Au Sénégal, l'élevage est une réalité sociale et économique omniprésente et multiforme. Loin des clichés tenaces qui le réduisent à une activité «contemplative», l'élevage se décline suivant les lieux du pastoralisme extensif à l'élevage intra-urbain, en passant par des formes intermédiaires variées de mobilité, de relation à l'agriculture et à la ville. Deux Sénégalais sur trois possèdent des animaux domestiques : l'élevage ferait vivre en partie un habitant sur trois (Dieye, 2003). Depuis longtemps, le secteur participe à l'économie nationale et régionale des échanges. Malgré des politiques publiques agricoles privilégiant les productions végétales, il a su répondre aux besoins croissants associés à l'essor démographique, à l'urbanisation, à l'évolution des modèles alimentaires (Cesaro *et al*, 2010). Le cheptel sénégalais est estimé en 2015 à 3,516 millions de bovins et 12,050 millions de têtes de petits ruminants (CEP, MEPA, 2015) (Tableau I).

Tableau I : Effectif du cheptel en 2015 et taux de croît par espèce

Espèce	Effectif (en millier de tête)	Taux de croît (%)
Bovin	3 516	1
Ovin	6 496	3,2
Caprin	5 554	3,2
Porcin	409	2,9
Equin	551	1,1
Asin	468	1
Camelin	5	0,5
Volaille familiale	26 148	3
Volaille industrielle	34 951	20

Source : (CEP, MEPA, 2015)

Plusieurs contraintes techniques, institutionnelles et économiques font encore aujourd'hui obstacles au développement de l'élevage dont le potentiel n'est pas encore pleinement valorisé

pour lui faire jouer ses fonctions importantes en matière de sécurité alimentaire, de formation de revenus, de création d'emploi et d'intrants à l'agriculture. Pour satisfaire cette volonté de relancer l'Agriculture, l'élevage doit rompre avec toute routine stérile et œuvrer vers un renouveau. Cela doit se traduire au travers d'actions multiformes visant avant tout au renforcement de l'efficacité de l'encadrement des producteurs dont la capacité d'intervention sera majorée grâce à leur plus grande professionnalisation et à un partenariat fécond avec le privé (Sow *et al*, 1997).

1.2 Place des productions animales

Les productions animales contribuent pour une part variable, mais souvent importante, aux économies agricoles des différents pays (Tacher et Letenneur, 1999). Elles représentent en moyenne un tiers du produit intérieur brut agricole.

L'élevage et particulièrement la production du lait occupent une place prépondérante comme facteur de réduction de la pauvreté et de croissance économique.

1.2.1 Zones écologiques et systèmes d'élevage

Le secteur de l'élevage, à travers les filières lait et viande de volaille, constitue au Sénégal, comme dans la plupart des pays en voie de développement, un maillon essentiel de l'économie à travers la satisfaction des besoins alimentaires des populations rurales et urbaines, l'épargne, la création d'emploi, etc. (Ngom, 2013). Les animaux de rente des systèmes d'élevage sont surtout constitués de bovins (zébus, taurins et métis), de petits ruminants (ovins, caprins), de volailles et de porcins. La répartition spatiale des races de ruminants est bien adaptée aux conditions écologiques et à la présence de la trypanosomiase qui limite l'élevage de certaines races dans les zones infestées par les vecteurs du parasite (Faye, 2001; Bouyer *et al*, 2014).

L'accroissement attendu de la demande du pays en lait et en viande ouvre des opportunités de développement pour les filières de ruminants mais dans le même temps les systèmes d'élevage sénégalais sont caractérisés par une grande diversité, une productivité et une compétitivité souvent plus faible que celle des bassins de production concurrents en Afrique.

Il implique quelques 3 millions d'individus, soit 350 000 familles, et fournit approximativement 55% des revenus des ruraux en zone pastorale, et 40% en zone agropastorale (Diarra, 2009). La

figure 1 permet entre autres choses d'apprécier la répartition des différents systèmes d'élevage, à savoir ceux à dominance intensive, pastorale et agropastorale.



Figure 1 : Principaux systèmes de production laitière au Sénégal (Ba Diao, 2004)

Le système agropastoral caractérisé par une association agriculture-élevage et une grande disponibilité des sous produits agricoles et agro-industriels, se rencontre essentiellement dans les zones Centre et Sud du pays mais aussi dans la vallée du fleuve Sénégal. Ce système montre des faiblesses à savoir la forte pression agricole et humaine réduisant l'espace pastoral et la forte pratique du brûlis qui détruit les derniers fourrages disponibles pour le bétail en saison sèche (Nishimwe, 2008).

Le système pastoral est caractérisé par l'exploitation des grands espaces à travers la mobilité du cheptel. Les ressources en eau et en pâturage limitées (steppes et savanes arbustives) constituent l'apport essentiel de l'alimentation des troupeaux et imposent une grande mobilité des hommes et du bétail. C'est un système qui se retrouve au Ferlo (Diao, 1991).

L'élevage est mené sur un mode transhumant dans les zones arides en vue d'une meilleure exploitation des pâturages peu riches mais répartis sur d'immenses espaces, impropres à l'agriculture (Duteurtre *et al*, 2003).

Quant au système périurbain, il est localisé dans la zone des Niayes et intéresse l'embouche industrielle, la production laitière et l'aviculture. Il concerne 1% des bovins et 3% des petits ruminants. Les élevages y sont intensifs et semi-intensifs (Nishimwe, 2008).

Les particularités de l'environnement et des modes d'élevages pastoraux et de stabulation nous emmènent à insister sur le fait que l'élevage pour l'obtention de lait est fortement saisonnier. De même, l'alimentation et le matériel génétique disponibles ne permettent pas une forte production laitière. Ainsi, les produits laitiers consommés en saison sèche proviennent principalement des systèmes agropastoraux et intensifs, au sein desquels l'apport de compléments alimentaires s'avère souvent nécessaire (Lavoie, 2012). Pour arriver à une meilleure performance des productions des ruminants, les éleveurs transhumants pastoraux gèrent leurs déplacements selon les saisons, au Nord pendant l'hivernage et vers le Sud pendant la saison sèche. La stabulation constitue un des moyens permettant d'améliorer les productions provenant des élevages pastoraux, aux côtés de l'amélioration génétique pour les zones agropastorales et de la constitution de réserves fourragères. Au-delà des aspects quantitatifs, les aspects qualitatifs sont également à prendre en compte surtout pour le lait et les produits laitiers. La pasteurisation du lait avant consommation ou avant toute transformation est à préconiser surtout pour le système agropastoral où par ailleurs la fumure animale est utilisée pour fertiliser les champs et les résidus de récoltes collectés pour nourrir des animaux.

1.2.2 Importance économique des productions animales et l'évolution de la production

Comparé aux autres pays africains qui ne possèdent pas d'abondantes ressources naturelles, le Sénégal a une économie à la traîne mais fortement tirée par le secteur tertiaire moteur de l'économie sénégalaise avec une part relative de 60,6% du PIB en 2009 (Fonds africain de développement, 2010). En ce qui concerne le secteur primaire, les sous-secteurs de l'élevage (8,8%) et de l'horticulture (8,9%) ont été performants en 2013 et ont soutenu la croissance au niveau du secteur primaire (DPEE, 2014).

Les productions animales ne permettent pas de couvrir les besoins en protéines animales, d'où le recours aux importations en provenance des pays sahéliens ou des pays extra-africains (OCDE, 2012).

Par rapport à leur évolution, les productions de lait, de viande et d'œufs ont augmenté tout au long de la période 1961-1997 mais à un rythme moindre que celui de la population (Ndoye *et al.*, 2009).

Au niveau de l'élevage, le Sénégal est importateur de viande et d'abats, de produits laitiers et d'œufs à couver. Ces derniers proviennent du Brésil et de la France et ont atteints en 2005, 6 132 450 d'unités importées. Le lait porte globalement sur 46 229 tonnes, soit 319 millions de litres en équivalent lait crû, pour une valeur de 42,4 milliards de francs CFA. Soixante quinze pour cent du tonnage importé est constitué par le lait en poudre. Les importations de viande et d'abats ont doublé en 3 ans pour atteindre en 2005 un volume de 19 692 tonnes (soit 67 milliards de francs CFA) (Ndoye *et al.*, 2009).

Les exportations de bétail sont difficiles à évaluer. Elles concerneraient surtout des petits ruminants pour le Mali (chèvre rousse par exemple) et des bovins et petits ruminants pour la Gambie. Les autres exportations de produits issus de l'élevage concernent essentiellement les cuirs et peaux. Pour une production de 18 120 tonnes, le Sénégal a exporté 6 427 tonnes de cuirs et peaux, dont 63% de cuir de bovin (ANSD, 2015a).

1.3 Production laitière bovine au Sénégal

L'élevage joue un rôle important dans l'économie nationale (Dia, 2013) et contribue pour beaucoup à la sécurité alimentaire. La production laitière au Sénégal provient essentiellement des vaches et dans une moindre mesure des chèvres pour la transformation en fromage.

1.3.1 Contribution des produits laitiers dans la sécurité alimentaire

La place de l'élevage est considérable dans la réalisation de la sécurité alimentaire des ménages, compte tenu de l'importance de l'autoconsommation dans les stratégies des ménages agricoles et du rôle joué par les marchés de proximité des produits d'origine animale pour nourrir les populations urbaines. Environ 80% des besoins alimentaires des populations de la région sont satisfaits par les productions régionales. Ainsi, le défi auquel le secteur agricole est confronté est

celui de passer de la garantie de la sécurité alimentaire à celle de la souveraineté alimentaire au niveau régional (Blein *et al*, 2008).

Dans la plupart des pays du Sud, on constate une augmentation considérable de la demande en produits animaux. Les principaux facteurs de ces changements sont la croissance démographique, l'urbanisation massive, l'accroissement des revenus et la modification des habitudes alimentaires (Duteurtre *et al*, 2003).

Boutonnet *et al*, 2000 ont rapporté que l'analyse des données compilées par la FAO depuis 1960 montre que la disponibilité individuelle moyenne en produits laitiers est restée stable de l'ordre de 40 kg équivalent lait liquide (EL) par personne et par an jusqu'au début des années 80. L'augmentation des importations a compensé la baisse de la production par habitant. Depuis plus de 20 ans, la disponibilité en produits laitiers est en constante diminution et s'établit en 1997 autour de 33 kg par personne et par an, alors que la FAO et l'OMS recommandent un niveau de 50 kg EL par personne et par an (Boutonnet *et al*, 2000). Depuis la dévaluation du FCFA en 1994, elle est passée de 50 kg par habitant et par an à 27 kg (Corniaux, 2003) .

Les produits consommés sont surtout des produits traditionnels : lait frais, lait fermenté, beurre solide et beurre liquide. Mais de plus en plus, il est trouvé de produits importés et de nouveaux types de produits sur les marchés urbains : lait en poudre, lait concentré, huile de beurre, yaourts, fromages, beurre pasteurisé, etc. (Duteurtre *et al*, 2003).

1.3.2 Politiques d'amélioration de la production laitière locale

L'amont de la production laitière bovine continue d'être soumis à un ensemble de contraintes qui limitent son essor et qui comprennent aussi bien le faible niveau technique des éleveurs, le potentiel génétique des animaux que les sévérités climatiques et les déficits alimentaires. Le produit obtenu est de qualité physico-chimique moyenne ou mauvaise. Ainsi, la connaissance de la réalité du terrain, associée à une analyse fine des systèmes de production du lait, constitue un outil nécessaire pour l'amélioration de cette qualité (Hassainya *et al*, 2007).

Le Sénégal fait partie des pays dont le déséquilibre de l'offre par rapport à la demande en lait est très important. La production laitière traditionnelle dominante ne permet pas de couvrir la demande : 80% du lait produit en milieu rural est destiné à l'autoconsommation. Les besoins en lait et produits laitiers sont couverts à hauteur de 60% par les importations (Dieye, 2003).

La dépendance accrue de la demande vis-à-vis des importations de produits laitiers est à l'origine d'une sortie importante de devises qui était en 2002 d'une valeur moyenne de 15 milliards de FCFA et dont le montant actuel est d'environ 60 milliards de Franc CFA.

En 2011, la production laitière locale était estimée à 184,5 millions de litres, dont 158,6 millions pour le lait de vache (85,6%) et 25,9 millions pour le lait de petit ruminant (14%) (CEP, MEPA, 2015) (tableau II). Elle provient presque essentiellement des élevages traditionnels. Les races bovines locales sont peu productives (de 0,5 à 2 l/vache/jour). Ainsi, la production laitière nationale reste très faible, irrégulière et fortement marquée par une variation saisonnière. Quant aux élevages semi-intensifs et intensifs, ils ne sont pas nombreux et produisent très peu de lait de vaches et de petits ruminants.

Tableau II : Evolution de la production locale de lait (en millions de litres)

Année	Elevage extensif		Elevages semi-intensif/intensif	Production totale
	Vaches	Brebis/Chèvres		
1999	93,5	20,6	1,0	115,1
2000	97,7	20,9	<i>nd*</i>	118,5
2001	100,1	21,5	<i>nd</i>	121,6
2002	86,0	15,5	<i>nd</i>	101,5
2003	92,3	18,1	<i>nd</i>	110,4
2004	95,9	18,3	<i>nd</i>	114,2
2005	97,3	18,9	<i>nd</i>	116,1
2006	100,7	19,4	<i>nd</i>	120,2
2007	102,3	20,0	15,0	137,3
2008	111,0	19,9	15,0	145,9
2009	125,3	24,4	17,0	166,7
2010	127,8	24,9	28,2	180,9
2011	129,3	25,9	29,2	184,5

Source : (CEP, MEPA, 2015) *nd** : non disponible

Il ressort de ce tableau une faiblesse de la production laitière locale, ce qui justifie la forte volonté politique exprimée par l'Etat du Sénégal d'accroître la production laitière à travers divers programmes dont le Volet Elevage de la grande offensive agricole pour la nourriture et

l'abondance (GOANA). Ce programme lancé en 2008 était décliné en différentes composantes axées sur les campagnes d'inséminations artificielles bovines, la mise en place des centres d'intensification et de modernisation de l'élevage (CIMEL), les mesures d'accompagnement liées à l'alimentation, au crédit et à la mise en marché, à travers la mise en œuvre du Programme National de Développement de la Filière Laitière locale (PRODELAIT).

Avec les différentes interventions du PRODELAIT dans le pays, la part des différentes régions dans la production locale de lait est relativement disparate (Figure 2).

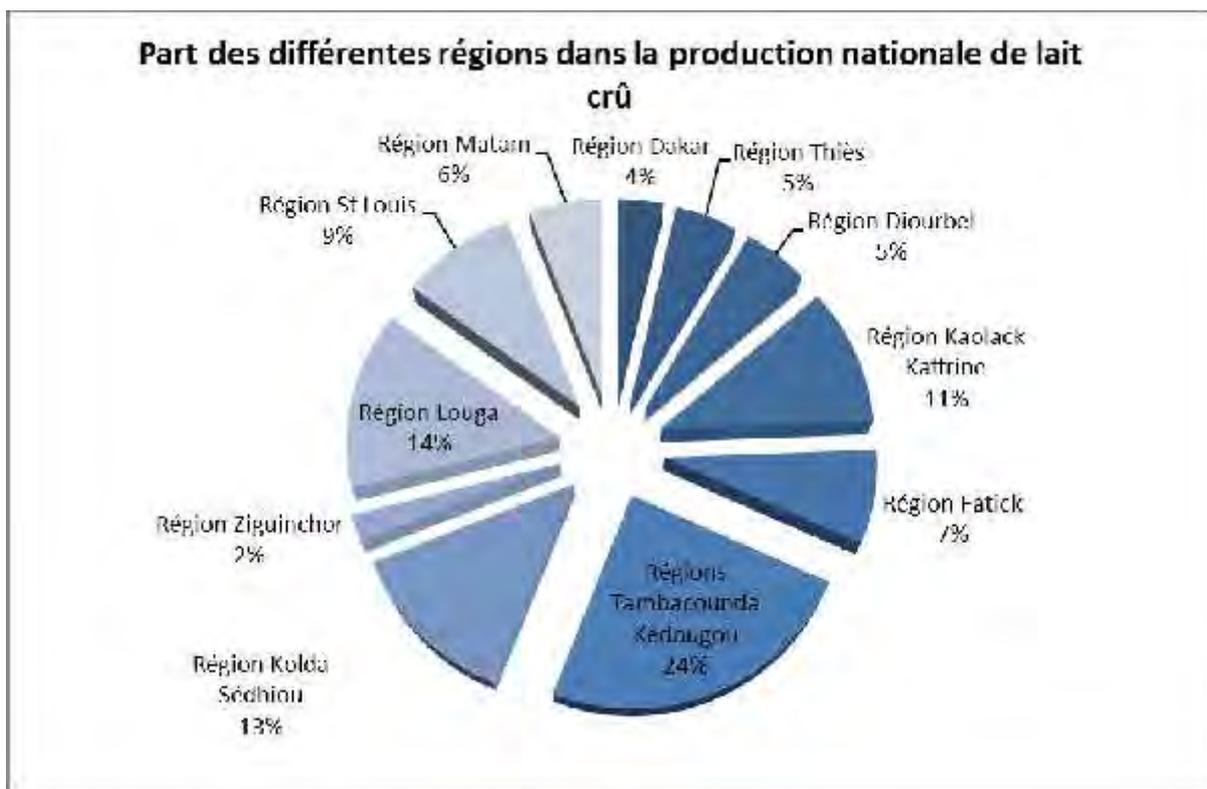


Figure 2 : Part des différentes régions dans la production nationale de lait cru (Source : (CEP, MEPA, 2015))

La production laitière nationale ne peut répondre aux besoins nationaux et la satisfaction de la demande demeure tributaire des importations.

Ces dernières sont estimées en 2011 à 41 341 tonnes soit 235 millions d'équivalents litres de lait frais selon les services vétérinaires du port et de l'aéroport (CEP, MEPA, 2015).

Une politique d'autosuffisance en produits laitiers est considérée comme une extrême nécessité, face au volume des importations qui ponctionnent les réserves en devises. Toutes les mesures qui visent à améliorer quantitativement et qualitativement la production laitière, constituent un volet

important de notre développement économique et social car elles assurent une meilleure alimentation de nos populations et une économie appréciable de devises.

1.4 Systèmes d'élevage et de gestion des effluents d'élevage

Les systèmes d'élevage intensif sont souvent au cœur de diverses polémiques, notamment parce qu'ils sont à l'origine de pollutions ponctuelles et diffuses de l'environnement. Outre le fait que la gestion de leurs effluents participe aux problèmes d'eutrophisation des eaux de surface et à la contamination par les nitrates des eaux souterraines, ces exploitations émettent un grand nombre de molécules gazeuses. En effet, le stockage anaérobie des excréments des animaux d'élevage est à l'origine d'émissions de molécules telles que l'ammoniac, le méthane, l'hydrogène sulfuré et les composés odorants (Peu, 2011).

Le système d'élevage pastoral recouvre la zone sylvo-pastorale, caractérisée par une faiblesse des précipitations (au Nord de l'isohyète 400 mm). On estime que ce système concerne 32% des bovins et 35% des petits ruminants du Sénégal (Dieye, 2003). Le mode de vie mené par les éleveurs consiste en la recherche de la mobilité afin de tirer partie des complémentarités entre différentes zones et pour garantir la sécurité alimentaire des troupeaux.

Dans le système extensif pastoral, la production laitière se concentre en saison des pluies, moment où les pâturages sont relativement abondants. Elle s'établit sur deux à trois mois (août, septembre, octobre). Cette production sert d'abord à couvrir les besoins de la famille du pasteur. L'autoconsommation absorbe la plus grosse partie de la production (80% environ), le reste pouvant être commercialisé sous forme de lait cru, de lait fermenté, etc. Certains pasteurs sont amenés à se déplacer sur de longues distances durant une bonne partie de l'année à la recherche de pâturages et de points d'eau pour l'alimentation et l'abreuvement du bétail.

Le système d'élevage mixte agropastoral allie plusieurs types d'activités. Les conditions climatiques autorisent une agriculture sous pluie en association avec les activités d'élevage. Au-delà du pâturage constitué par la biomasse issue de la saison des pluies, les agropasteurs associent d'autres compléments nutritifs pour leurs animaux. Il s'agit de résidus de cultures (paille de riz, fane d'arachide, tiges de maïs, fourrage de niébé...), mais aussi parfois d'autres compléments comme la graine de coton, le tourteau de sésame et/ou d'arachide pour améliorer la production de viande et de lait des animaux tenus à l'étable (étable fumière). On parle alors de systèmes agro-pastoraux semi-intensifiés. Dans de très rares cas, les agro-éleveurs pratiquent des

cultures fourragères. Dans les systèmes agro-pastoraux, les animaux sont conduits au pâturage sur des parcours naturels ou sur des résidus de culture. Mais dans les systèmes semi-intensifiés, ils peuvent aussi être parqués une partie du temps, avec des conditions sanitaires améliorées. La production de lait ou de viande devient alors possible toute l'année. Le fumier issu de la stabulation est valorisé dans les champs, ce qui permet l'intégration entre l'agriculture et l'élevage (Dia, 2009). Dans le système semi-intensif, en zone cotonnière et dans une partie du bassin arachidier (Régions de Kolda, Tambacounda, Kaolack), la production laitière est aussi autoconsommée par les agropasteurs mais dans de moindres proportions que dans le système extensif (environ 30% en saison sèche et 40% en saison des pluies selon Dia, 2002). Le reste est commercialisé en milieu urbain. Des bassins de collecte du lait sont mis en place autour des centres urbains.

Le système moderne de production laitière au Sénégal est géographiquement très concentré dans la frange côtière du pays, où il bénéficie d'un climat plus clément et de la proximité des grands centres urbains. On le trouve dans la région de Dakar (la zone des Niayes) et, dans une moindre mesure, dans la région de Thiès. Les ressources alimentaires naturelles adaptées à un élevage intensif sont certes rares dans cette région, mais les résidus des cultures maraîchères, les sous-produits agro-industriels, et les cultures fourragères permettent de répondre aux besoins alimentaires élevés des animaux laitiers. Les producteurs bénéficient ainsi d'une dynamique productive associant agriculture et élevage. On estime que l'élevage périurbain concerne 1% des bovins et 3% des petits ruminants du pays (Dieye, 2003).

De tous ces systèmes d'élevage, l'utilisation du biodigester semble être plus adaptée aux systèmes semi-intensifs, intensifs mais aussi au système périurbain car le bon fonctionnement du biodigester nécessite la stabulation des animaux pour mobiliser facilement les bouses.

1.4.1 Gestion des effluents d'élevage

La gestion des effluents d'élevage est un enjeu important en raison des pollutions qu'ils peuvent engendrer.

Pour toute entreprise laitière, la saine gestion des fumiers du troupeau s'avère avantageuse à long terme sur les plans économiques, agronomiques et environnementaux (Barrington *et al*, 1997). On entend par « gestion des effluents » les façons qu'a le producteur d'obtenir, de conserver,

d'utiliser et de redistribuer, dans son exploitation ou d'autres exploitations, des matières organiques issues de ses propres élevages ou provenant d'autres exploitations (Paillat *et al*, 2003).

Sur le plan économique, la gestion des fumiers permet de réduire les intrants sous forme d'engrais minéraux parce qu'ils apportent aux sols plusieurs nutriments ainsi qu'une bonne gamme de macroéléments et de micro éléments.

Sur une base agronomique, une bonne gestion des fumiers enrichit les sols de matière organique qui augmente à son tour le taux d'absorption des minéraux et leur disponibilité pour nourrir les plantes (Barrington *et al*, 2002). En plus, cette matière organique produit des acides qui libèrent le phosphore fixé sur les particules de sol et augmente sa disponibilité. On sait par ailleurs, qu'un niveau de matière organique du sol de 4% au lieu de 2% double l'efficacité des engrais minéraux (Schattauer *et al*, 2011).

Sur une base environnementale, une bonne gestion des fumiers permet de protéger la qualité des sols de la ferme, de l'air ambiant, des eaux souterraines et de drainage. Une bonne gestion des fumiers favorise également les relations de bon voisinage (Barrington *et al*, 1997).

Pour les élevages laitiers, la dépendance au système fourrager justifie l'existence de différentes caractéristiques, notamment, sur les surfaces d'épandage qui sont très liées aux conditions agropédoclimatiques. Pour d'autres élevages, notamment porcins, c'est la valorisation possible de l'effluent dans la zone qui constitue un critère de différenciation (zone de diversification maraîchère, zone cannière) (Paillat *et al*, 2003).

D'importants problèmes sont rencontrés dans les exploitations pratiquant l'élevage et concernent les débordements de fosses (effluents liquides), les épandages illicites sur les parcelles d'autrui, les apports massifs sur parcelles en culture conduisant à des doses d'azote apportées excessives. Pour les exploitations à dominante production végétale, c'est au contraire l'approvisionnement en effluents de qualité suffisante (notamment pour les cultures maraîchères) ou aux moments propices qui peut être problématique (Guerrin *et al*, 1998).

Une modification du mode de production et de gestion des effluents est proposée comme stratégie soit, (i) par la transformation des effluents (compostage des effluents qui réduit les volumes, facilite le transport, autorise l'utilisation des lisiers sur les cultures), (ii) par la vente des effluents en cherchant de nouveaux clients, (iii) par le recours à de nouvelles surfaces

d'épandage licite (location ou prêt de terres, mise en culture des friches, modification des assolements...), (iv) par la production de biogaz avec la fermentation anaérobie des effluents, au moment où le problème de l'énergie est devenu quotidien, avec non seulement ses coûts faramineux mais aussi sa rareté surtout en milieu rural (Paillat *et al*, 2003).

Au Sénégal, il n'y a pas un système spécifique de gestion de la bouse animale. La bouse dans les étables et enclos est généralement rassemblée à l'aide des pelles, pioches, dabs et râtaux et transportée par une brouette, une charrette ou tout autre récipient pour la fosse fumière ou pour les champs.

Les systèmes d'élevage sont souvent au cœur de diverses polémiques, notamment parce qu'ils sont à l'origine de pollutions ponctuelles et diffuses de l'environnement (Peu, 2011).

1.4.2 Composition du fumier

Les effluents d'élevage bovins sont essentiellement des fumiers. Il s'agit soit de fumiers pailleux compacts lorsque les animaux sont en stabulation sur aire paillée, soit de fumiers mous si les animaux sont en stabulation entravée ou en logette. Certains élevages, essentiellement des élevages de vaches laitières, produisent aussi des lisiers (déjections liquides sans litière).

L'humidité naturelle des fumiers de bovins permet un compostage facile. Mis en tas et retourné régulièrement, la montée en température va se réaliser rapidement. Suivant le type d'utilisation recherché (effet fertilisant ou amendement), le compostage devra être plus ou moins long. Dans des conditions normales de température et de pluviométrie, un compost de bonne qualité peut être obtenu en 2 à 3 mois avec, au moins, un retournement. Les fumiers pailleux ne produisent que très peu de purin. Ils sont évacués des étables tous les deux à six mois. Ces fumiers peuvent être stockés au champ. Par contre, les fumiers mous sont évacués tous les jours ou tous les deux jours (Appels *et al*, 2011) et les éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium) qui constituent ces fumiers sont différentes (tableau III).

Tableau III : Teneurs approximatives en azote, phosphore et potassium (NPK) de différents fumiers

Animal	% d'azote	% d'acide phosphorique	% potasse
Vache laitière	0,57	0,23	0,62
Jeune bœuf (boucherie)	0,73	0,48	0,55
Cheval	0,70	0,25	0,77
Porc	0,49	0,34	0,47
Mouton, chèvre	1,44	0,50	1,21
Lapin	2,40	1,40	0,60
Poulet	1,00	0,80	0,39

Source : (Kuepper, 2003)

Les éléments qui composent les fumiers varient considérablement non seulement en fonction de l'espèce animale qui les produit mais aussi en fonction de la ration consommée par l'animal.

1.4.3 Principales utilisations du fumier

1.4.3.1 Utilisation du fumier comme combustible

La crise de l'énergie, contrairement à ce que l'on pourrait penser, n'est pas une nouveauté. Les grandes villes en effet ainsi que les industries métallurgiques, correspondant à la révolution industrielle, faisaient une grande consommation de bois. Ce qui induisait chez les populations une crainte d'une pénurie de bois jusqu'au milieu du XIX^e siècle.

Au Sénégal, les femmes surtout en milieu rural ont d'énormes difficultés à trouver l'énergie pour la cuisine et le chauffage du fait de la déforestation. Suppléer à la carence des matières ligneuses et la bonne gestion des forêts étant une des préoccupations majeures, le recours aux excréments des animaux sauvages ou domestiques apparaît donc très anciennement (Tissandier, 1999). C'est ainsi que la bouse est utilisée comme combustible substituant au bois.

1.4.3.2 Utilisation de la bouse de vache comme un matériau de construction

Si sur les 700 millions de tonnes de fumier produites annuellement en Inde, la majeure partie (voire la presque totalité) est utilisée comme engrais et comme combustible, la bouse de vache peut être employée à de nombreuses autres fins.

En effet dans de nombreux pays, elle était ou bien est encore un élément de base dans la construction, que ce soit pour l'édification des murs, le coffrage des sols, le comblement des fissures ou l'imperméabilisation des toitures.

Mélangée à d'autres éléments (sable, terre, paille, branches etc.), elle servait de liant et donnait ainsi un caractère solide et imperméable au mélange, utilisé alors comme ciment.

Cette utilisation de l'engrais dans les constructions est faite dans différents pays comme la France, la Hongrie, la Chine, la Réunion, et surtout dans le continent africain. Ainsi, chez les Masais, le toit des maisons est constitué de branches entrelacées et recouvertes de bouse de vache (Lemoine, 1998). Au Sénégal, l'utilisation de la bouse dans les constructions n'est pas très connue.

1.4.3.3 Utilisation du fumier comme engrais

La bouse est le produit de la digestion des végétaux ingérés par les bovidés. Les différents changements dans les « estomacs » puis le tube digestif de ces végétaux permet une assimilation et une intégration d'une partie seulement des matières ingérées, le reste étant éliminé dans les bouses. Ces dernières sont donc riches en différents éléments organiques.

C'est pour cette raison que la bouse représente un engrais de qualité notamment pour sa forte teneur en azote, élément primordial pour le développement des végétaux (Kuepper, 2003).

Probablement depuis que le bœuf a été domestiqué pour aider au travail des champs, la bouse a été utilisée comme engrais améliorant considérablement le rendement des cultures.

Aujourd'hui encore la pratique de l'épandage est très répandue dans le milieu de l'élevage.

L'emploi de la bouse sous forme de fumier (mélange de bouse et de litière) ou de lisier (bouse, urine, eau et débris pailleux) sur les cultures ou dans les champs pour en améliorer le rendement par l'apport d'agents fertilisants (en particulier l'azote), représente certainement l'emploi le plus important et le plus courant des excréments de vache. Le dépôt d'une bouse entraîne un enrichissement du sol sous-jacent en différents bioéléments nécessaires au développement végétal (Waterhouse, 1974).

Au Sénégal, l'utilisation du fumier se fait sous trois grandes formes. La première consiste à laisser les animaux en stabulation dans les champs pendant la saison sèche. Les déjections des animaux restent sur place et constituent du fumier. Cette pratique est utilisée par les éleveurs

traditionnels qui sont généralement des agro pasteurs. La seconde, pratiquée par les propriétaires de bœufs d'embouche, de vaches laitières, consiste à sortir sur une période régulière la bouse mélangée aux résidus alimentaires et à les épandre dans les champs. Ce mélange bouse-résidus peut aussi servir à alimenter les fosses fumières en vue de son utilisation ultérieure dans le champ ; il s'agit de la troisième méthode. Cette dernière tend à être délaissée, car la décomposition de la bouse dans la fosse n'est pas rapide, aussi est-il utilisé du «compost plus » qui est un inoculum permettant d'accélérer la décomposition du contenu de la fosse (Keita *et al*, 2008).

1.4.3.4 Utilisation de la bouse dans la médecine

La bouse est essentiellement utilisée en médecine pour les états d'inflammation, les douleurs et les plaies. Au Kenya par exemple, suite à la perforation des lobes des oreilles, l'application de cataplasme à base de bouse fraîche permettait l'accélération de la cicatrisation de la plaie saignante; en France on traitait de la même façon les coupures dues au rasage.

L'utilisation de la bouse pour ses diverses propriétés, notamment pour son caractère antiseptique, fut largement répandue dans le traitement de nombreuses affections, que ce soit pour le panaris, le traitement des abcès, des flegmons, des piqûres d'insectes et même dans certains pays comme l'Inde pour la lèpre (Jean-Damien, 2004).

Il est tout de même à noter que son utilisation n'est pas sans danger, en effet, au Pakistan, un grand nombre de nourrissons dont le cordon ombilical était « désinfecté » avec de la bouse de vache séchée et utilisée comme talc, mourrait de tétanos néonatal ou d'une septicémie (Lemoine, 1998).

En Inde, l'asthme bronchique et la dysenterie étaient traités ainsi par voie orale, le fait fut même relevé en Algérie dans les années 1900-1914, ou en Chine dans les années 1930 (Jean-Damien, 2004).

D'autres utilisations enfin, dérivent de la combustion des bouses. La fumée qui se dégage de cette combustion permettait d'éloigner bon nombre d'insectes : araignées, moucheron, moustiques, abeilles, etc.

La bouse, dont quelques applications quotidiennes de nos ancêtres ont été retranscrites, représente bien plus qu'un moyen de combustion, un matériel de construction ou un « remède » pour la guérison de divers maux : en tant que restitution des végétaux ingérés par les bovidés, elle est une étape dans le cycle des bioéléments de l'écosystème prairie.

Chapitre II : Gestion de l'énergie au Sénégal

2.1 Introduction

A l'instar des autres pays africains, et surtout ceux non producteurs de pétrole, le Sénégal a subi les effets pervers de la crise pétrolière et économique mondiale qui s'est traduite par un prix du baril de pétrole instable et de plus en plus cher, entraînant une forte augmentation des coûts d'importation des produits et influant négativement sur les finances publiques (Ministère de l'énergie, 2010).

2.2 Tendances de la consommation d'énergie dans l'économie nationale

La consommation mondiale d'énergie indique que la consommation d'électricité en Afrique ne représente que 8% de celle-ci, par rapport à la biomasse dont l'utilisation constitue 58% de cette consommation (Maxime, 2012). A l'instar des autres pays de la sous région ouest africaine, l'utilisation de la biomasse au Sénégal représente environ 80% de la consommation totale d'énergie primaire. Les consommations d'énergie suivent, de manière générale, la croissance de la population et de l'économie induisant ainsi une progression moyenne annuelle de 6% entre 2000 et 2009 (Ministère de l'énergie, 2010).

2.2.1 Besoins énergétiques du Sénégal

Depuis plusieurs années, le Sénégal se trouve confronté à une crise énergétique profonde et persistante qui contrarie les performances de l'économie nationale. Malgré les efforts déployés par les pouvoirs publics, le service de l'électricité demeure encore inefficace avec une production presque exclusivement d'origine thermique, insuffisante et coûteuse, dont le transport et la distribution sont assurés par un réseau vétuste aux capacités relativement limitées. Le secteur de l'énergie joue un rôle transversal dans la mise en œuvre des politiques publiques et a des impacts systémiques sur l'ensemble de l'économie. Cependant, le faible taux d'accès aux services énergétiques modernes constitue un facteur limitant le développement économique et social.

La facture pétrolière du Sénégal est passée de 184 milliards FCFA en 2000 à environ 400 milliards FCFA en 2009, ce qui entraîne une forte sortie de devises influant négativement sur la balance commerciale du pays. Aussi, 45% du revenu des exportations est actuellement mobilisé pour honorer cette facture. Tout de même, on constate une baisse de 21,6% du ratio importations produits pétroliers / totales des exportations entre 2008 (66,6%) et 2009 (45%), due au prix du baril qui est plus bas en 2009 malgré l'augmentation des importations en volume (Ministère de l'énergie, 2010).

Le taux d'électrification urbaine était de 90,1 % en 2009, alors qu'en milieu rural il est de 23,8% ; ce qui donne, au total, un taux d'électrification nationale de l'ordre de 54% contre une moyenne mondiale de 60% (Ministère de l'énergie, 2010).

Compte tenu, d'une part, du taux actuel d'électrification rurale et, d'autre part, d'une progression moyenne annuelle (2000-2009) de 10,4% de ce taux, on peut dire que les objectifs initiaux fixés par le Gouvernement dans le Programme d'Actions Sénégalais d'Electrification Rurale (PASER) qui visait à porter le taux d'électrification rurale à 30% en 2015 puis à 62% à l'horizon 2022, pourraient largement être atteints avec des taux respectifs de 38,4% et 77,4% pour 2015 et 2022, si bien sûr la tendance se maintient.

Avec le nouvel objectif d'un taux d'électrification de 50% en 2012, ce qui correspond à faire bénéficier l'accès à l'électricité à 229 000 nouveaux ménages des localités rurales qui s'ajouteront aux 102 000 ménages disposant de l'électricité en 2008, un effort financier de plus 134 milliards, soit 26 milliards par an, est nécessaire. Cet effort doit venir en complément à celui entrepris dans le cadre des concessions d'électrification rurale (Ministère de l'énergie, 2010).

2.2.2 Consommation énergétique au Sénégal

Le bilan énergétique de 2009 a montré que la consommation d'énergie finale par habitant (0,21 tep (Tonne Equivalent Pétrole)) au Sénégal est faible, comparée à la moyenne de la CEDEAO (0,45 tep) et à celle de l'Afrique (0,50 tep).

Avec 50 % des consommations d'énergie finales, la biomasse représente la plus grande part des consommations d'énergie, même si elle est inférieure à la moyenne africaine qui tourne autour de 60%. Les produits pétroliers et l'électricité représentent respectivement 36% et 8% des consommations finales (Ministère de l'énergie, 2010).

En 2009, le gaz de pétrole liquéfié constituait près de 5,6% de la consommation finale d'énergie par produit et 9,1% de la consommation finale des ménages ; ce qui se traduit par une consommation de biomasse significativement inférieure à celle des pays de la sous région. Mais, aujourd'hui, cet effort n'est pas sans conséquences financières pour l'Etat : environ 4 milliards de francs CFA de subvention en 2009 pour les emballages destinés aux faibles revenus, ce qui a permis de préserver 50 605 hectares de forêt. Toutefois, avec la suppression de la subvention en juin 2009 et l'augmentation du prix du gaz butane, malgré le renoncement de l'Etat à la TVA, le comportement des ménages, surtout ruraux, a changé dans leur pratique et mode de consommation d'énergie domestique. La biomasse est de plus en plus utilisée.

Les consommations d'énergie suivent, de manière générale, la croissance de la population et de l'économie.

L'énergie utilisée au Sénégal en 2009, est essentiellement dominée par la biomasse (54,3%) produite localement, suivie des produits pétroliers (40,6%), pour lesquels le Sénégal dépend essentiellement de l'extérieur, du charbon minéral importé d'Afrique du Sud (4%) utilisé dans les cimenteries, de l'hydroélectricité du barrage de Manantali (0,5%), du Gaz naturel produit localement (0,4%) et du solaire photovoltaïque (0,006%).

Quant à la consommation par produit des ménages, la principale source d'énergie des ménages provient du bois de feu (59%) et du charbon de bois (26%) ; ils représentent à eux seuls 85% de la consommation totale d'énergie des ménages (1468 ktep). Ces deux produits sont souvent utilisés pour les besoins de cuisson comme le gaz de pétrole liquéfié (GPL) (9,1%).

La part de l'électricité est de l'ordre de 5%. Le pétrole lampant (1%) est utilisé essentiellement pour l'éclairage en milieu périurbain et rural (Ministère de l'énergie, 2010).

Dans les zones urbaines, 87% des ménages ont accès à l'électricité, tandis que dans les zones rurales seulement 24% des ménages peuvent utiliser l'énergie électrique.

Dans un souci de développement des énergies renouvelables pour la lutte contre la pauvreté, il doit être envisagé d'élargir l'accès à un service énergétique moderne, et d'en faire un levier de développement local.

Les énergies renouvelables, et notamment l'énergie solaire photovoltaïque, font partie des options techniques proposées par le gouvernement dans ce cadre. La part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique à l'horizon 2025 devrait être portée à plus de 15%.

La mise en place d'un programme d'électrification rurale par les énergies renouvelables s'inscrit bien dans cette volonté politique (Liébard et Civel, 2010).

2.3 Problématique de l'énergie en milieu rural

2.3.1 Contexte énergétique en milieu rural

L'accès à l'énergie en milieu rural peut avoir plusieurs impacts dont l'accroissement des revenus des ménages par la multiplication des activités génératrices de revenus et la création des emplois. L'énergie permet d'améliorer la qualité des services sociaux de base comme la santé, l'éducation, l'eau, etc.

En milieu rural, la majorité des populations utilise la biomasse pour s'éclairer, cuisiner et se chauffer et la biomasse représente environ plus de trois quart de la consommation totale d'énergie primaire. Le niveau de consommation énergétique reflète dans une certaine mesure le niveau de développement, en ce sens que l'énergie est nécessaire à toute activité humaine, indispensable à la satisfaction des besoins quotidiens (eau, nourriture, santé, etc.) et assure un minimum de développement économique et social (Maxime, 2012).

Au Sénégal, le secteur de l'énergie comprend deux sous-secteurs qui coexistent avec un minimum de lien structurel ou fonctionnel : le sous-secteur de l'énergie traditionnelle et le sous-secteur de l'énergie moderne. Le sous-secteur de l'énergie traditionnelle est très largement dominé par le bois et le charbon de bois, tandis que le sous-secteur des énergies modernes comprend les combustibles pétroliers et l'électricité, principalement d'origine thermique.

La filière bois énergie occupe une place importante dans le sous secteur des énergies domestiques. Deux sous filières caractérisent la filière bois énergie au Sénégal : le charbon de bois et le bois de chauffe. Le bois de chauffe participe de façon très significative à la satisfaction des besoins énergétiques des ménages. En effet, à lui seul, selon les données les plus récentes sur l'enquête de consommation des ménages, il occupe 41% du bilan énergétique (Ngom, 2006).

L'électricité, qui ne représentait que 7% des postes de consommation énergétique en 2006, est essentiellement d'origine thermique, seuls 10% étant d'origine hydroélectrique. L'exploitation du solaire photovoltaïque est en progression, mais demeure encore marginale.

La consommation énergétique par habitant est de 0,2 tep/an, parmi les plus faibles du monde, la moyenne mondiale étant de 1,6 tep/an. Elle reste dominée par les hydrocarbures et la biomasse. Le secteur domestique représente 49 % de la consommation finale d'énergie.

2.3.2 Exploitation de l'énergie par les femmes

Les combustibles ligneux constituent une composante importante du bilan de consommation finale en énergie (45%). Près de 70% de la population utilise la biomasse énergie (bois, charbon de bois) pour leurs activités de cuisson. En milieu rural, le bois de chauffe représente jusqu'à 90% des besoins en énergie toute forme confondue. L'approvisionnement des ménages s'effectue abondamment par l'autoconsommation à travers la collecte de bois assurée par les femmes et les enfants.

Ces données sont assez parlantes pour ce qui est de l'importance économique et sociale des combustibles ligneux (Ehemba, 2006).

Ainsi, au rythme et dans les conditions actuelles d'exploitation et de raréfaction de la ressource, on assiste à un éloignement des distances de collecte et une accélération de la pénétration du charbon de bois en milieu rural. Ainsi, dans un avenir proche, il deviendra de plus en plus difficile d'approvisionner en combustibles domestiques les ménages dans des conditions acceptables. Au plan économique, les dépenses des ménages pour leurs besoins énergétiques opèrent de lourdes pressions sur leurs revenus déjà maigres.

Au Sénégal, les femmes représentent 51% de la population (ANSD, 2014). Elles sont des acteurs sociaux incontournables présents à tous les niveaux de la vie économique et sociale (agriculture, artisanat, pêche etc.). Pourtant elles constituent la catégorie la plus touchée par la pauvreté de manière générale et énergétique en particulier. En effet, ce sont elles qui travaillent le plus pour la collecte du bois de chauffe, l'exhaure d'eau, les travaux domestiques souvent sans pouvoir compter sur des infrastructures modernes les plus élémentaires (Ehemba, 2006).

Les activités domestiques sont non seulement peu productives mais surtout laissent peu de temps aux femmes pour accéder à d'autres activités génératrices de revenus.

La pauvreté énergétique qui caractérise l'environnement des femmes utilisatrices des combustibles ligneux se traduit par la pollution intérieure forte dont les conséquences sont les maladies respiratoires.

L'accès effectif à l'électricité est une condition nécessaire à la multiplication des activités génératrices de revenus, mais pas suffisante à la réduction de la pauvreté en milieu rural. Cette réduction à travers l'accès à l'énergie électrique pourra se faire à travers d'autres indicateurs de la pauvreté, dont le niveau d'instruction du chef de ménage.

La disponibilité de l'électricité contribue à la réduction de la pauvreté, non seulement à travers la croissance économique, mais aussi par la satisfaction des besoins vitaux de santé et d'éducation (Maxime, 2012).

Le souci de réduire les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et de maintenir une croissance économique stable a non seulement donné lieu à des discours enflammés, mais a également été l'une des préoccupations majeures de la politique énergétique et de protection de l'environnement dans tous les pays du monde (Lee et Chang, 2008).

Ceci ajouté au contexte énergétique du Sénégal explique bien l'introduction d'une innovation : le biodigesteur qui est un outil de production d'une énergie, le biogaz à partir du fumier de bovins.

Chapitre III : Rappels des processus fondamentaux des biodigesteurs

3.1 Introduction

Les politiques gouvernementales sont de plus en plus marquées ces dernières années par la prise en compte de la composante « environnement » comme facteur clé du développement économique et social. Dans ce contexte, la valorisation des effluents d'élevage par méthanisation reste particulièrement nécessaire non seulement pour l'environnement, mais aussi pour une production d'énergie.

La problématique énergétique a incité l'introduction de la méthanisation dans les années 1980. Ainsi, la digestion anaérobie (ou méthanisation) est de plus en plus perçue comme une voie incontournable d'amélioration du bilan environnemental et énergétique de la gestion des déchets organiques (Béline et al., 2013).

3.2 Méthanisation

3.2.1 Définition de la méthanisation

La méthanisation (ou fermentation anaérobie) est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques en produisant du biogaz ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) qui est une source d'énergie renouvelable et un résidu solide, plus ou moins appauvri en matières organiques et utilisé comme fertilisant (Saidi et Abada, 2007). C'est un processus de digestion qui se déroule naturellement dans les milieux où l'on trouve de la matière organique en absence d'oxygène (Almansour, 2011). La méthanisation est une transformation naturelle qui se réalise dans tous les milieux où l'on trouve de la matière organique en absence d'oxygène, et où les conditions physico-chimiques sont compatibles avec celles du vivant. Elle se réalise donc dans les marais, les intestins des animaux et des insectes, les rizières, le fond des lacs, etc. C'est une transformation qui permet d'éliminer la matière organique pour faire un biogaz énergétique, via le méthane qu'il contient (Moletta, 2002).

Selon Acharya *et al*, 2005, le biogaz est un mélange de gaz produit par des bactéries à base de méthane agissant sur les matières biodégradables dans un milieu qui manque d'air et il est

principalement composé de 60 à 70% de méthane, 30 à 40% de dioxyde de carbone et d'autres gaz.

3.2.2 Origine de la méthanisation

La méthanisation est la transformation par un écosystème microbien de la matière organique en biogaz qui est un mélange de méthane et de gaz carbonique. Cette voie biologique de transformation est largement répandue dans la nature, elle est à l'origine des gisements de gaz naturel fossile, elle s'observe dans les marais, dans les vases d'estuaires ou encore dans les sédiments des ports maritimes (APESA, 2007). La redécouverte de la méthanisation remonte au XVIII^{ème} siècle, précisément en 1776, lorsqu'Alessandro Volta, un physicien italien, remarque la présence d'un gaz émis par les vases en putréfaction d'un marais (le lac Maggiore au nord de l'Italie). Il a étudié ensuite ce gaz, et a montré qu'il s'agissait d'un gaz combustible et il l'a appelé « gaz des marais ». Antoine Lavoisier a appelé ce gaz « gaz hydrogène carboné » en 1787 et ce n'est qu'en 1865 que le terme méthane fut proposé et confirmé en 1892 (Almansour, 2011).

Des études historiques indiquent l'utilisation du biogaz par les Assyriens dix siècles avant Jésus Christ (Malcolm et Hansen, 2002). En 1808, un physicien et chimiste britannique du nom de Sir Humphry Davy, a étudié la fermentation anaérobie du fumier. En 1859, la première installation de méthanisation a été construite dans une colonie britannique à Bombay en Inde (Meynell, 1976 cité par (Almansour, 2011)). En 1884, Ulysse Gayon, élève en agronomie à l'école Louis Pasteur à Bordeaux, a observé la libération d'un gaz par la fermentation du fumier et a fait plusieurs expériences. En 1898 un brevet a été déposé à Exeter en Grande Bretagne par l'ingénieur Donald Cameron concernant une fosse septique pour le traitement des eaux d'égouts. Il a aussi construit une installation de méthanisation à Exeter et le biogaz était valorisé pour l'éclairage public.

La méthanisation en tant que source énergétique en raison de la rareté et de la cherté des sources locales a vu le jour après la première guerre mondiale. En France le processus de la méthanisation fut appliqué aux traitements des déchets agricoles et d'élevage, pendant les années quarante, afin de produire de l'énergie à partir du fumier (Moletta, 2002). La méthanisation dans le milieu agricole a ainsi connu une révolution après la seconde guerre mondiale. Cette technologie a reculé rapidement et a été presque oubliée durant les années cinquante et soixante avec l'arrivée des sources énergétiques fossiles moins coûteuses et facilement disponibles. Cependant, concernant le traitement dans les stations d'épuration, la méthanisation a gardé son

rôle comme une technique efficace pour le traitement et la stabilisation des boues urbaines, surtout en Allemagne. Le choc pétrolier de 1973 et l'inquiétude d'une possible pénurie d'énergie fossile ont montré la nécessité de chercher d'autres sources énergétiques renouvelables ou alternatives au pétrole. De fait, l'intérêt des énergéticiens s'est à nouveau porté sur la méthanisation comme une des solutions à ces problèmes. Elle a connu une réussite importante dans le domaine agricole, notamment avec les techniques de « méthanisation à la ferme » (Lee et Chang, 2008).

Cependant, la méthanisation est retombée dans l'oubli au milieu des années quatre-vingt suite à la baisse du prix du pétrole, les installations de méthanisation ont perdu leur rentabilité et les projets envisagés se sont arrêtés. À partir des dernières années du vingtième siècle, la méthanisation resurgit comme étant une technique efficace pour le traitement des pollutions, en particulier, avec la prise de conscience internationale du besoin croissant de protéger l'environnement et de développer des solutions aux problématiques « énergie-eau-déchets » dans un contexte de changement global (Mignon, 2009). En plus, les domaines concernés par le procédé se sont multipliés pour y inclure les résidus, déchets et effluents résiduels des industries agroalimentaires ainsi que la gestion des substrats méthanisables, et ce quelles que soient leurs origines comme les papeteries par exemple. Les fluctuations du prix du pétrole et les soucis continus dans les zones de production ont contribué aussi à réveiller les intérêts vers la digestion anaérobie. Surtout, avec les avancements technologiques dans ce domaine comme la multiplication des applications de valorisation puisque le biogaz est convertible en pratiquement toutes les formes utiles d'énergie ce qui rend la production du biogaz adaptable avec tous les types de débouchés possibles à proximité ou à distance pour des usages internes ou externes (Almansour, 2011).

3.3 Méthanisation dans le monde

3.3.1 En Europe

La méthanisation de déchets organiques et autres produits dérivés est largement utilisée en Europe parce qu'elle permet de traiter les déchets tout en produisant du biogaz, une source d'énergie renouvelable, ainsi que de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) (Bolzonella *et al*, 2013).

De nombreux pays européens s'accordent sur le fait que la méthanisation est un réel atout pour le développement durable. Les différentes approches qu'ils mettent en œuvre sont autant de modèles intéressants à étudier.

Une des caractéristiques de l'Europe est sa dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur. L'Union européenne (UE), deuxième économie mondiale, consomme 1/5^e de l'énergie produite dans le monde, mais possède très peu de réserves (Union européenne, 2012). Heureusement, le «bouquet énergétique» est bien diversifié au niveau européen : entre les nombreux barrages en Autriche, les mines de charbon en Pologne, les centrales nucléaires en France, les forages pétroliers en mer du Nord et les champs de gaz des Pays-Bas et du Danemark. Néanmoins, des mesures sont nécessaires pour réduire radicalement les émissions et freiner le changement climatique.

Pour autant, actuellement seulement quelques pays en Europe produisent une part significative de biogaz par méthanisation agricole. Il s'agit notamment de l'Allemagne, de l'Autriche, des Pays-Bas et du Danemark qui ont su tirer partie des avantages de la méthanisation et ont ainsi construit leurs modèles de développement de la filière (Hanson *et al*, 2007). Certains pays encouragent l'utilisation de cultures énergétiques dans le but d'augmenter plus rapidement la production d'énergie renouvelable alors que d'autres pays s'interrogent sur la pertinence environnementale d'utiliser ces cultures et portent leur priorité sur la valorisation des gisements de déchets déjà existants (Béline *et al*, 2013) .

Le Royaume Uni reste le plus grand producteur d'énergie issue de biogaz en raison essentiellement de la politique mise en place depuis plus d'une décennie sur la collecte et la valorisation du biogaz des centres d'enfouissement techniques (Ak, 2013).

L'Allemagne est le deuxième producteur d'énergie issue de biogaz avec une forte progression ces 5 dernières années liées à la mise en place d'une politique très incitative de rachat d'électricité issue de biogaz. Les procédés de traitement anaérobies sont particulièrement adaptés pour l'utilisation des déchets organiques humides provenant de l'agriculture et de l'industrie ainsi que pour la partie organique des déchets ménagers triés à la source (Weiland, 2000). La technologie anaérobie sera également utilisée pour le traitement commun des déchets avec les cultures énergétiques renouvelables afin de réduire les émissions de CO₂ selon le protocole de Kyoto (Hanson *et al*, 2007).

En Autriche, la méthanisation s'est fortement développée sur un modèle similaire à l'Allemagne au début des années 2000, avec des lois successives concernant le prix d'achat de l'électricité issu du biogaz à partir de 2002 et portant ce tarif jusqu'à 0,22 e/kWh. Ainsi, en 2008, environ 350-400 unités étaient en fonctionnement et la très grande majorité de ces unités utilise des cultures énergétiques en complément des effluents d'élevage (Pereira *et al*, 2012).

Contrairement à l'Allemagne, le Danemark se singularise avec, en plus d'une soixantaine d'unités à la ferme, plus de vingt unités centralisées de taille importante, fonctionnant en co-digestion et rassemblant agriculteurs, collectivités et industries, dans un contexte spécifique associant tarif d'achat élevé, nombreux réseaux de chaleur favorisant la valorisation thermique, forte densité d'élevages et culture de la coopération. Contrairement à l'Allemagne, peu de cultures énergétiques sont utilisées en co-digestion avec les effluents d'élevage (Béline *et al*, 2013; Levasseur *et al*, 2013).

En France, la méthanisation, portée par la problématique énergétique, a connu un essor important dans les années 1970-80 avec une centaine d'installations et c'est également à cette période que sont apparues les premières publications scientifiques françaises sur ce sujet (Couplet et Albagnac, 1978 ; Juste *et al*, 1981; Aubart *et al*, 1983; Delafarge *et al*, 1983 cités par Béline *et al*, 2013). Cependant, la politique énergétique française a rapidement entraîné un déclin de ce procédé et la méthanisation a alors connu une traversée du désert de plus de vingt ans. Récemment, face à la problématique « effet de serre », à l'augmentation récente du coût de l'énergie, à la volonté de produire de l'énergie renouvelable et à la prise de conscience collective du concept de développement durable, de nouveaux paramètres sont pris en considération concernant la gestion des déchets et des résidus organiques. Ainsi, la digestion anaérobie (ou méthanisation) est de plus en plus perçue comme une voie incontournable d'amélioration du bilan environnemental et énergétique de la gestion des déchets organiques (Bonnier, 2008).

L'Italie et la France sont considérées comme les deux pays où le développement de la méthanisation devrait être significativement important dans les toutes prochaines années (APESA, 2007).

3.3.2 En Asie

Le changement climatique est sans doute le problème environnemental le plus imminent dont le monde est confronté aujourd'hui. La hausse de la température mondiale aura certains effets majeurs sur les écosystèmes, la faune, les chaînes alimentaires et la vie humaine par la suite. Il y a un consensus général que le réchauffement climatique est dû à la grande échelle par les émissions anthropiques de gaz à effet de serre, qui sont principalement provoquées par la génération de chaleur et d'électricité. En effet, encore une fraction importante de la demande mondiale d'énergie est satisfaite par l'utilisation de combustibles fossiles. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), les combustibles fossiles représentaient jusqu'à 81% de l'approvisionnement en énergie primaire dans le monde en 2007, alors que les sources d'énergie renouvelables ne contribuent que de 13% (International Energy Agency (IEA) World primary energy supply cité par Appels *et al*, 2011).

La Chine a une longue histoire d'utilisation des énergies renouvelables, y compris la biomasse, les énergies solaire, géothermique, marine et éolienne (Chang *et al*, 2003). Ces ressources représentent un potentiel énergétique énorme, qui dépasse largement celle des ressources en combustibles fossiles (Wrixon GT cité par Chen *et al*, 2010). Le biogaz est distinct des autres énergies renouvelables sur deux fronts: d'un, il est essentiellement constitué de méthane relativement propre, et de deux, il en ressort un effluent utilisé comme engrais (Taleghani et Shabani Kia, 2005).

Le nombre d'usines de production de biogaz dans la Chine rurale est le plus élevé au monde. En 2007, il y avait 26,5 millions de biodigesteurs, dont la production a atteint 10,5 milliards de m³ (l'équivalent de plus de 100 millions de tonnes de charbon standard) (Ma *et al*, 2010).

L'énergie renouvelable est le choix inévitable de la croissance économique durable, pour la coexistence harmonieuse de l'homme et de l'environnement ainsi que pour le développement durable. Le soutien du gouvernement est la touche la plus importante pour le développement des énergies renouvelables dans ces pays (Peidong *et al*, 2009).

En outre, l'énergie renouvelable à partir de biomasse est disponible en tant que ressource nationale dans les zones rurales, ce qui n'est pas soumis aux fluctuations des cours mondiaux ou les incertitudes d'approvisionnement des combustibles importés et classiques. Les ressources de la biomasse en Inde sont disponibles en abondance sous forme de déchets municipaux solides, de résidus de culture, de déchets agricoles, de boues d'épuration provenant des usines de traitement

des eaux usées, de déjections animales et des déchets industriels (Rao *et al*, 2010). En effet le biogaz, produit à partir de la digestion anaérobie des excréments du bétail, peut parvenir à compléter les combustibles de cuisson dans les zones de campagne en Inde, où la matière première nécessaire à la production est abondamment disponible (Singh et Sooch, 2004).

La digestion anaérobie de la bouse de vache fournit non seulement du combustible de cuisson précieux, à savoir le biogaz, et améliore la valeur du compost, mais fournit également une méthode d'élimination des déchets pratique, sécuritaire et esthétique (Singh et Sooch, 2004).

Le Bangladesh est aussi connu pour avoir un bon potentiel pour les énergies renouvelables, mais jusqu'à présent, aucune étude systématique n'a été faite pour quantifier ce potentiel pour la production d'électricité (Mondal et Denich, 2010). Le Bangladesh a très peu de ressources énergétiques non renouvelables propres. Il est confronté à une crise énergétique et au problème de la désertification dans les zones rurales. Ces questions pourraient être supprimées si l'énergie renouvelable est utilisée comme source d'énergie primaire dans les zones rurales.

Les sources d'énergie de la biomasse sont traditionnellement utilisées pour la cuisson domestique et dans les petites industries rurales.

La contribution de la biomasse dans la consommation totale d'énergie primaire du Bangladesh est d'environ 60%. Les principales sources de biomasse traditionnelle sont des résidus agricoles, du bois et des déchets de bois, et les excréments d'animaux, et leur part dans l'approvisionnement en énergie est d'environ 46%, 34% et 20%, respectivement. L'utilisation industrielle et commerciale de la biomasse représente 13,7% de la consommation totale d'énergie (Rofiquil Islam *et al*, 2008)

La biomasse a été source d'énergie traditionnelle dans les régions rurales de la Thaïlande depuis des décennies. La modernisation du pays, au lieu de réduire la consommation d'énergie de la biomasse, n'a cessé d'augmenter son utilisation pour les ménages. Alors que le PIB / habitant était triple de 1980 à 1996, la consommation d'énergie de la biomasse a augmenté de 68%, et devrait être plus élevé que signalé par le nombre croissant de nouvelles centrales alimentées à la biomasse (Prasertsan et Sajjakulnukit, 2006).

La technologie est aussi disponible au Népal depuis le milieu des années 1970. À ce jour, le biogaz est principalement utilisé pour la cuisine (80%) et l'éclairage (20%) au Népal (Acharya *et al*, 2005).

Au Sri Lanka, la biomasse est la principale source d'énergie renouvelable. En 1997, la contribution de la biomasse pour l'utilisation totale d'énergie primaire dans le pays était le plus élevé et à hauteur de 55% (Perera *et al*, 2003).

Il en est de même pour la Turquie où parmi les sources d'énergie renouvelables, la biomasse semble l'une des plus intéressantes parce que sa part de la consommation totale d'énergie est élevé à 10% (sa part de la production totale est de 26%), et les techniques pour la convertir en énergie utile ne sont pas nécessairement sophistiqué (Kaygusuz et Türker, 2002).

3.3.3 En Afrique

Les systèmes bioénergétiques ont été recommandées en fonction du potentiel de répondre à la demande nationale d'énergie et de réduire l'importation de carburant, de diversifier les économies rurales et de créer des emplois, des gains nets d'énergie et des impacts environnementaux positifs et de réduire la pauvreté (Mangoyana, 2009).

Il a été observé que la technologie du biogaz a eu très peu de succès en Afrique subsaharienne sauf en Tanzanie et au Burundi où des centaines de biodigesteurs ont été construits et sont utilisés.

La technologie du biogaz peut servir comme un moyen de lutter contre la pauvreté énergétique, qui constitue un obstacle constant au développement économique en Afrique (Parawira, 2009).

Au cours des quinze dernières années, environ 200 biodigesteurs ont été construits au Soudan pour différents domaines, la production de méthane (CH₄) pour la cuisson, le pompage de l'eau et la production d'électricité (Omer, 2007).

Le Nigéria est aussi un pays riche en combustibles fossiles et un pays exportateur de pétrole. Afin de contenir l'incertitude généralement associée à la transformation structurelle de l'économie typique d'un pays en développement comme le Nigeria, une analyse a été adoptée pour examiner les perspectives futures du biogaz dans le pays (Akinbami *et al*, 2001). Au Nigeria, le substrat de matières premières identifié pour une production de biogaz économiquement faisable comprend la laitue d'eau, la jacinthe d'eau, la boue, les feuilles de manioc, les déchets urbains, solides (y compris industrielle), les résidus agricoles et les eaux usées. Néanmoins, beaucoup de contraintes économiques, techniques et socio-culturelles sont

quelques-unes des barrières envisagées à la pénétration de cette technologie dans le marché de l'énergie du Nigeria (Akinbami *et al*, 2001).

Au Kenya, l'histoire de la production et de l'utilisation du biogaz a commencé en 1954, lorsque le premier processus de production a été réalisé sur une grande plantation à l'aide d'un digesteur de 200 litres (Laichena et Wafula, 1997).

Situé au cœur de l'Afrique, le Burundi n'a aucun accès sur la mer. Malgré les efforts d'électrification par hydroélectricité, le milieu rural reste tributaire de l'utilisation du bois comme source d'énergie. Cette consommation excessive de bois n'est pas sans conséquence. En effet, la destruction du couvert végétal provoque un déséquilibre écologique bien connu avec comme conséquence des pluies irrégulières, la destruction des sols par les différentes érosions, la baisse des nappes phréatiques et la désertification. Ainsi le plan d'action de Lagos et la Conférence mondiale sur les énergies nouvelles et renouvelables de Nairobi ont provoqué une réaction des Pouvoirs Publics burundais (Baratakanwa, 1988).

Au Burundi, les sources d'énergie commerciales (produits pétroliers, charbon et électricité) couvrent 5% des besoins. 95% des énergies sont assurés par d'autres sources telles que le bois, le charbon de bois et les déchets végétaux et près de 96% des énergies sont utilisées par l'habitat.

Ainsi, la bio méthanisation a été incluse dans les plans quinquennaux comme source d'énergie disponible (Wauthelet *et al*, 1989).

Le Sénégal a expérimenté le procédé « Transpaille » mis au point par le CIRAD et développé par Agriforce. Il récupère et traite des déchets organiques par fermentation méthanique en produisant du gaz et du compost. Le dispositif a été mis en place à l'abattoir de Thiès au Sénégal en 1988-1989. Le compost produit constitue un bon amendement organique. En zones rurales ce procédé permettait l'alimentation d'appareils ménagers de cuisson, le pompage de l'eau pour l'irrigation des cultures, l'éclairage, le fonctionnement de petits ateliers artisanaux (Farinet et Fancis, 1989). Ce procédé s'est avéré être aussi un outil de valorisation des résidus et d'effluents de l'industrie.

Ainsi une unité transpaille de 40 m³ a été installée à l'abattoir de Thiès pour permettre de produire annuellement 15000 kwh et 80 tonnes de compost à partir de l'épuration des résidus d'abattage. Cet outil a représenté pour l'abattoir un excellent moyen de lutte contre ses pollutions et nuisances (Farinet et Fancis, 1989).

En 2009, le Programme National de Biogaz domestique du Sénégal (PNB-SN) a démarré ses activités avec la signature le 30 décembre 2009, de l'arrêté portant création dudit programme. Il est placé sous l'autorité du Ministère en charge de l'Energie, avec un ancrage institutionnel du programme assuré par la Direction des Hydrocarbures et des Combustibles Domestiques (DHCD).

L'objectif du programme est de créer un marché durable de biogaz au profit des ménages, pour la production d'énergie pour la cuisson et l'éclairage, à travers l'introduction du biodigester domestique qui produit de l'énergie à base de fumier d'animal. De plus les boues rejetées après la production de gaz peuvent être utilisées directement ou en tant qu'agents de compostage, comme engrais organique pour améliorer la fertilité des sols (Anonyme, 2011).

Pour la phase pilote 2009 – 2013, la zone d'intervention retenue sur la base de critères de potentialités agricoles et socio-économiques, couvre les régions de Kaolack, Kaffrine et Fatick, dans le Bassin Arachidier. Le PNB-SN est chargé d'implémenter dans cette zone la construction de 8000 biodigesteurs au cours de la période 2010-2013.

En fin décembre 2012, les principaux résultats sont essentiellement :

- La construction de plus de 350 biodigesteurs ;
- Des artisans formés à l'adaptation des brûleurs et à la construction de fourneaux adaptés aux marmites locales pour réchauds biogaz avec la contribution de la société nationale des volontaires (SNV) du Burkina Faso ;
- Plus de 100 maçons ont été formés et plus de 1 000 ménages touchés par les activités de la promotion et du marketing ;
- Plus de 200 ménages bénéficiaires de biodigesteurs ont participé à des activités de vulgarisation et d'information des utilisateurs (Anonyme, 2011).

3.4 Caractéristiques des biodigesteurs

L'origine des digesteurs en discontinu est mal connue. Depuis très longtemps (en Chine notamment) les émanations naturelles de gaz étaient utilisées. D'ailleurs le processus d'un marais est comparable à un digesteur discontinu.

A la différence de la digestion continue, la production dans ce système ne peut être régulière, elle commence après le chargement et la fermeture de la cuve, et s'arrête lorsque la production baisse jusqu'à devenir nulle.

Les installations de biogaz de type agricole ont pour but de valoriser le potentiel énergétique du fumier et du lisier. La méthanisation supplémentaire de déchets verts provenant de l'extérieur de l'exploitation (des communes, des restaurants, ou des établissements horticoles), permet d'optimiser les rendements de l'installation.

Produire du biogaz c'est utiliser de grandes quantités de matière organique appelée biomasse, une matière première locale qui n'est aujourd'hui que faiblement exploitée. Toutes les matières organiques n'ont pas le même rendement de production de biogaz : leur sélection est importante.

Les différents types de biomasse utilisables sont :

- Les produits agricoles : ensilage de maïs, d'herbe, pailles, fanes, ...
- Les déjections animales : lisier, fumier, fiente...
- Les déchets agro-alimentaires : huiles, graisses, déchets de légumes ou de fruits, ...
- Les déchets des collectivités : tontes de pelouse, feuilles, déchets organiques, ...

Les matières organiques ligneuses issues de la filière bois (branchage, copeaux, sciure, ...) ne peuvent pas être digérées par les bactéries. Ainsi toutes les matières organiques ne sont pas utilisables.

Il existe deux types de techniques de production de biogaz : les procédés continus et les procédés discontinus.

Pour les procédés continus, la matière est traitée en continu avec une automatisation et une régularité de la production. L'alimentation du digesteur se fait quotidiennement avec une quantité spécifique de substrat. Cette introduction est accompagnée par la vidange d'un volume d'effluent.

Par contre, les procédés discontinus traitent la matière par lots qui produisent progressivement du biogaz avec une moindre maintenance puisque contenant moins d'éléments mécaniques. La cuve de fermentation est chargée en une seule fois.

3.4.1 Différents types de biodigesteurs

3.4.1.1 Digesteurs de type indien

Les digesteurs de type indien (figure 3) sont constitués d'un puits enterré dont le volume va de 2 à 140 m³, avec des temps de séjour d'environ 55 jours à fermenter et une productivité moyenne de 0,25 m³ par jour (Marache, 2001).



Figure 3 : Digesteur de type indien (Green et Vert, 2012)

3.4.1.2 Digesteurs de type chinois

Les digesteurs de type chinois sont essentiellement sphériques et sont alimentés, au moins, une fois par jour. Ils sont d'un volume de 6 à 8 m³. Leur productivité est de 0,15 à 0,30 m³ par jour (Marache, 2001). Il ressemble au digesteur de type indien mais les capacités sont moindres et adaptées à l'exploitation familiale (figure 4).

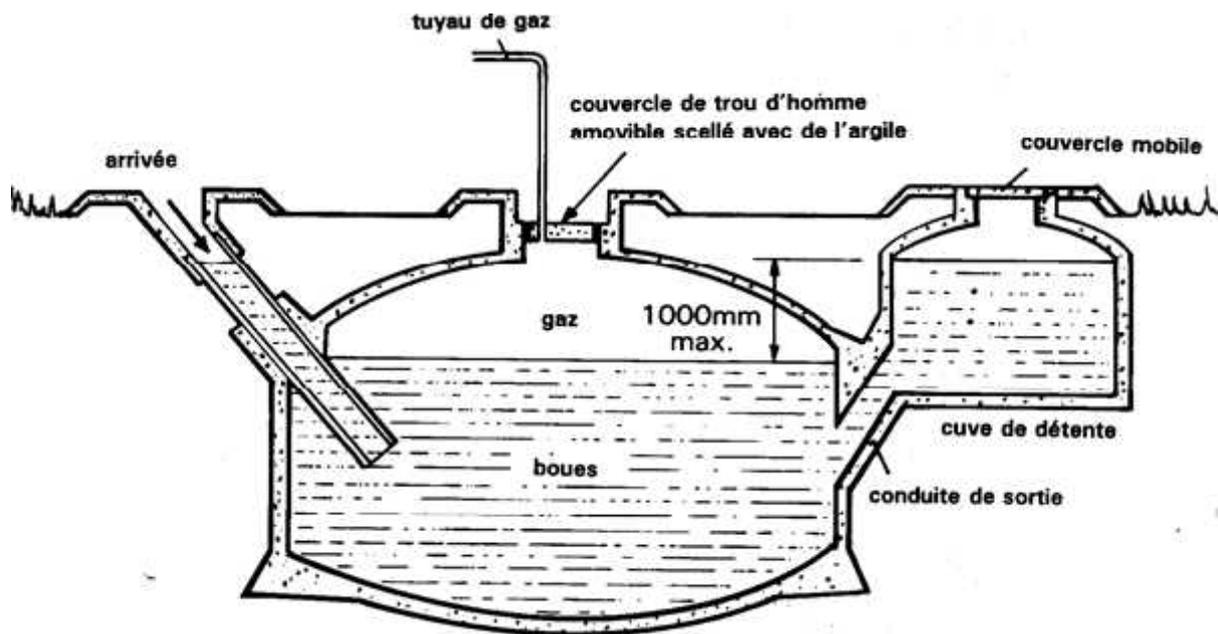


Figure 4 : Schéma d'un digesteur de type chinois (MARACHE, 2001)

3.4.1.3 Digesteurs à pistons

Ils sont surtout employés dans le traitement des résidus solides agricoles car ce traitement a un coût de fonctionnement faible et permet une bonne maîtrise du temps de séjour des solides (figure 5).

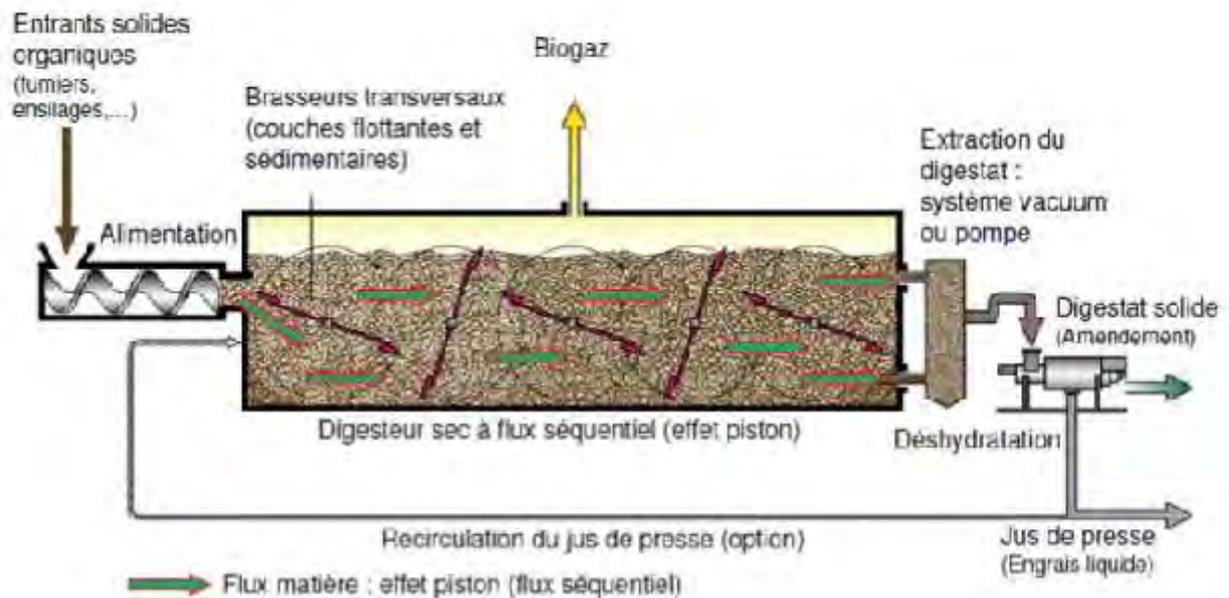


Figure 5 : Digesteur à piston (ADEME, 2012)

3.4.1.4 Digesteurs mixtes

Les digesteurs mixtes sont infiniment mélangés en ce qui concerne la partie liquide et à piston pour la partie solide des déchets traités (figure 6). L'écoulement est ascensionnel (grâce au système piston). Le temps de séjour est bien maîtrisé dans cette technique (Marache, 2001).

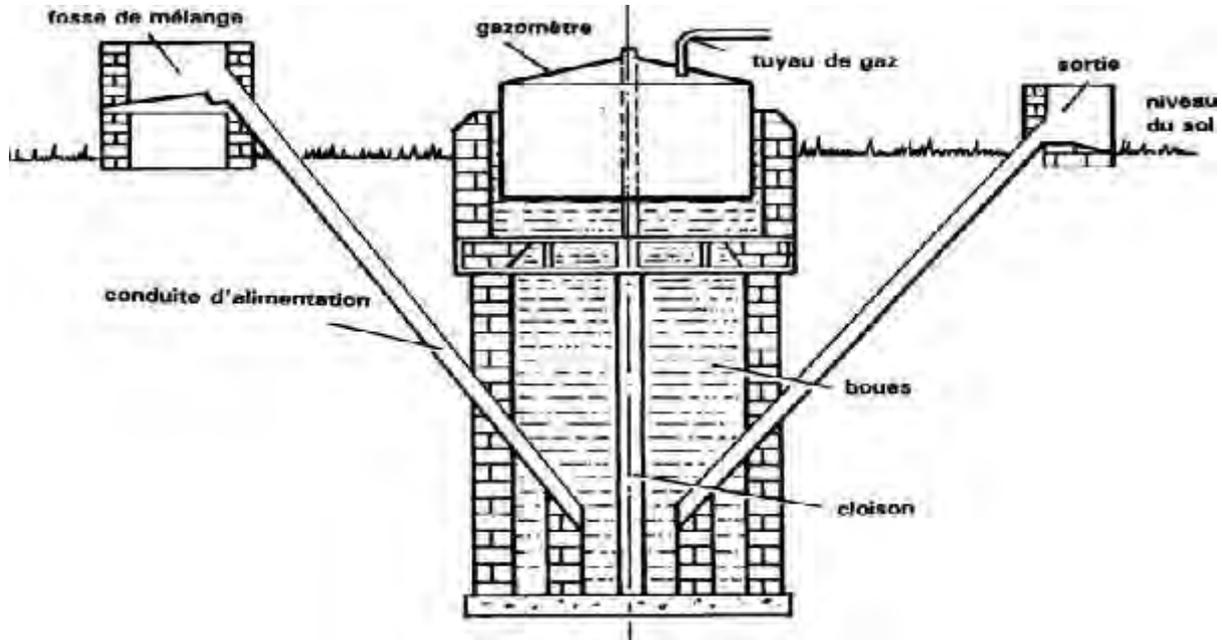


Figure 6 : Schéma d'un digesteur mixte (MARACHE, 2001)

Au Sénégal, ce sont les digesteurs de type chinois qui sont utilisés (figure 7).



Figure 7 : Un digesteur dans une exploitation à Kaolack

3.4.2 Capacités des biodigesteurs et niveaux de production

La production optimale du biogaz requiert certaines conditions de fonctionnement (Jlaidi et Amahrouch, 1995). Les paramètres à prendre en compte sont les suivants :

- La qualité de la bouse et du substrat : La déjection animale doit être fraîche. Pour assurer une homogénéisation du substrat, le ratio de mélange déjection animale et eau est de 1:1 (1 kg de déjection pour 1 kg ou 1 litre d'eau) afin que la première étape de la biométhanisation, l'hydrolyse, se fasse normalement.
- Le temps de rétention hydraulique (TRH) : Ce temps de rétention représente la durée de dégradation progressive du substrat (le mélange de déjections animales et d'eau), depuis son introduction dans le biodigesteur jusqu'à son évacuation dans le bassin de sortie. Il est fonction de la viscosité du substrat et de la situation géographique. Ainsi, le TRH est de 50 à 60 jours dans les zones tropicales et de 75 jours dans les zones tempérées.
- La variation de la température : La variation de la température est un élément très important à prendre en compte car elle peut affecter irréversiblement la quantité des microorganismes de méthanisation. Ainsi, une variation brusque de température détruira les micro-organismes et inhibera le processus de transformation. Le biodigesteur enterré facilite l'obtention de conditions stables de température, d'où son utilisation fréquente, notamment dans les zones tropicales où les variations de températures peuvent être élevées. Par ailleurs, la production de biogaz est plus difficile si la température est inférieure à 15°C.
- Le pH : le milieu idéal pour la digestion anaérobie est un mélange de pH neutre (6,8 – 7,2).
- Le rapport carbone/azote (C/N) : Pour une dégradation efficace, les micro-organismes ont besoin de carbone et d'azote pour le processus métabolique. Comme les bactéries consomment plus de carbone que d'azote, le ratio optimal est de disposer de 20 à 30 fois plus de carbone que d'azote [20 à 30 :1]. Un ratio C/N trop élevé (c'est à dire une faible valeur d'azote) résultera en un manque rapide d'azote, ce qui limitera la production de biogaz car l'absence de l'azote est un facteur d'inhibition. À l'inverse, un ratio C/N trop faible (c'est à dire une valeur élevée d'azote) résultera en la formation d'ammoniac (NH_4) qui augmentera le pH du contenu du digesteur; or, un pH supérieur à 8,5 (milieu alcalin) aura un effet toxique sur les bactéries méthanogènes induisant un arrêt du processus. Un

rapport adéquat permet également d’avoir un digestat riche en éléments azotés, essentiels pour l’amendement des sols. À titre indicatif, le ratio C/N de la bouse de vache est 25:1. Le rapport entre le carbone et l’azote dans le substrat dépend de la déjection animale et de l’alimentation du bétail.

- Éviter les inhibiteurs : Les ions minéraux, les métaux lourds, les antibiotiques, les savons et les détergents inhibent la croissance normale des microbes dans le digesteur et donc influencent négativement le processus de fermentation. Ils doivent être évités (les eaux de douche ou lavage ne doivent pas être connectées au biodigesteur). Pour pouvoir faire fonctionner correctement un biodigesteur de 6 m³, une famille a besoin de disposer de 4 bœufs ou 8 porcs, produisant au moins 40 kg de déchets par jour (Institut de l’énergie et de l’environnement de la francophonie, 2012).

Les volumes potentiels de gaz produits à partir de déchets varient en fonction de nombreux facteurs, et peuvent être exprimées en fonction de l’espèce comme indiqué dans le tableau IV.

Tableau IV : Potentiel de production de biogaz à partir de matières brutes

Source de déchets	production de gaz (m ³ /jour/kg de déchet)
Bovin	0,023-0,040
Poulets	0,065-0,116
Utilisateur latrines	0,02-0,04
Ovin/caprin	0,02-0,04
Porc	0,041-0,059

Source : Omer et Fadalla, 2003- SNV

3.5 Valorisation du biogaz

Le biogaz est généralement valorisé sous forme de chaleur et d’électricité (Bonnier, 2008). Il est convertible en pratiquement toutes les formes utiles d’énergie (APESA, 2007).

Certaines applications sont largement développées et l’offre industrielle et commerciale est solidement établie pour :

- l’utilisation directe en chaudière : production de chaleur, eau chaude ou de vapeur ;
- la production d’électricité ;

- la production combinée d'électricité et de chaleur par cogénération ;
- le gaz naturel après épuration (voir aussi la directive européenne sur le gaz naturel) ;
- le carburant automobile après épuration et compression.

Dans la production d'énergie, le biogaz peut servir à la production de chaleur, susceptible d'être utilisée soit dans la cuisson, le séchage ou le chauffage, soit dans le fonctionnement de machines à vapeur pour la production d'électricité ou d'énergie mécanique (figure 8).

La valorisation thermique : La combustion constitue le moyen le mieux adapté pour valoriser le biogaz. La chaleur de combustion du biogaz peut servir à la production d'eau chaude, de vapeur ou être utilisée pour chauffer des fours. C'est un procédé simple, qui ne nécessite pas de gros investissements et qui par conséquent est vite rentabilisé. Cependant le consommateur utilisant le biogaz doit être placé à proximité de la source. Les stations d'épuration utilisent fréquemment une fraction du biogaz produit pour entretenir la température des fermenteurs. La valorisation électrique avec ou sans cogénération : le biogaz peut permettre d'alimenter un moteur ou une turbine à gaz qui produit de l'électricité. Elle peut ensuite être réinjectée dans le réseau électrique. La cogénération produit de l'électricité et de la chaleur qui peut être utilisée pour chauffer les fermenteurs ou pour un autre usage.

La valorisation par injection dans le réseau : Il peut aussi être injecté sur le réseau de gaz naturel. C'est la solution qui offre le meilleur rendement énergétique, si le réseau est assez proche du point de production. Le gaz injecté doit être odorisé et subir un certain nombre de prétraitements pour éliminer le CO_2 , H_2S , O_2 , H_2O et les composés halogénés.

Le biogaz peut également être utilisé comme carburant. Son usage est pour l'instant limité à des flottes de véhicules captives comme les bus de ville ou les camions d'ordures ménagères (Dupont, 2010).

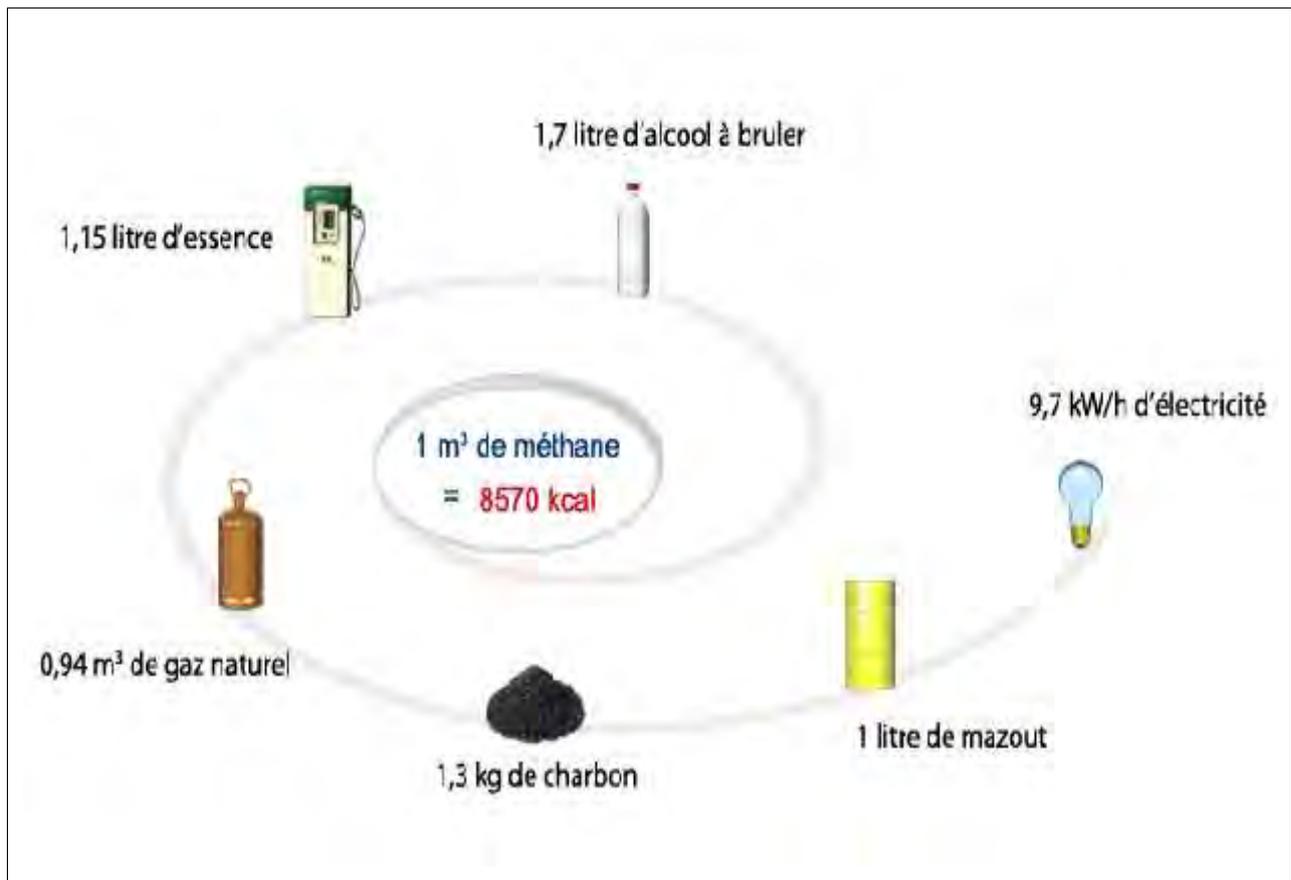


Figure 8 : Valorisation énergétique du biogaz (Dupont, 2010)

Il peut faire fonctionner un moteur à combustion interne pour produire de l'énergie cinétique (mécanique) ou de l'électricité. Il existe en effet des normes d'équivalence :

- 1 m³ de biogaz permet à une lampe d'éclairer pendant 6 à 7 heures et de diffuser une luminosité équivalente à 60 W de lumière électrique ;
- 1 m³ de biogaz peut aussi produire 1,25 kWh d'électricité. En outre, le biogaz épuré peut être utilisé dans l'industrie chimique pour la fabrication de nombreux produits chimiques (chloroforme, acétylène, méthanol,...) (Saidi et Abada, 2007).

Grace aux résultats acquis de Wauthélet *et al*, 1989, nous estimons qu'un digesteur de 8 m³ peut produire 3 m³ de biogaz à 55% de méthane par jour. Ces 3 m³ sont suffisants pour une famille et correspondent à :

- 7,5 heures de cuisson, ou
- 6 heures de cuisson et 3 heures d'éclairage, ou
- 3 heures de cuisson, 3 heures d'éclairage et 24 heures de réfrigération avec un réfrigérateur de 80 litres, ou
- 2 heures de fonctionnement d'un moteur de 1 kVA.

Il y a aussi le digestat issu de la méthanisation qui a une excellente qualité agronomique, meilleure que celle des matières non méthanisées. En effet, les éléments fertilisants sont sous forme minérale, plus facilement assimilable par les plantes, ce qui améliore le rendement dans la plupart des cas. Le digestat intéresse donc fortement les agriculteurs parce qu'il évite des engrais azotés chimiques et apporte une valeur amendante non négligeable. Il présente aussi l'avantage d'être jusqu'à 98 % moins odorant que la matière brute méthanisée. Les germes pathogènes sont réduits ainsi que les graines de mauvaises herbes (moins de pesticides). Selon la nature des matières méthanisées, le digestat est plus ou moins liquide et plus ou moins riche en azote. Il peut être utilisé de deux façons, soit épandu directement selon un plan d'épandage, soit séparé en deux phases solide et liquide. La phase solide a le même usage que le compost. La phase liquide, très riche en minéraux d'origine naturelle remplace avantageusement les engrais chimiques (Demeocq, 2011).

Grâce à la meilleure valeur fertilisante du digestat, l'azote minéral (ou engrais azoté) est moins utilisé (Mignon, 2009).

Lorsque le digestat est épandu sur les plantes en croissance, il s'écoule plus vite de la plante et s'infiltre plus rapidement dans le sol que les effluents bruts. Cela signifie pour l'agriculteur que les risques de pertes d'ammoniac après application sur une terre arable sont moins importants et donc les nuisances olfactives aussi.

L'utilisation du digestat comme fertilisant en agriculture doit devenir une réalité puisque le bien-fondé de la valeur agronomique du digestat est actuellement prouvé. Il n'y a donc plus aucun inconvénient à épandre le digestat sur les terres agricoles si on veille bien à ce que les précautions et les techniques appropriées soient respectées (Mignon, 2009).

3.6 Conclusion partielle

La biométhanisation permet de transformer la matière organique volatile en énergie, tout en préservant son potentiel fertilisant, aussi bien du point de vue de la matière organique que des éléments minéraux. Elle constitue donc une voie de valorisation énergétique de produits tels que les déjections d'élevage et les résidus de culture dont le retour au sol est indispensable. La biométhanisation offre donc une solution de valorisation énergétique de la biomasse qui, loin d'être en concurrence avec les impératifs agronomiques, est au contraire en synergie avec ceux-ci.

Le développement du biogaz domestique est une approche fédératrice des secteurs de l'environnement, de l'élevage, de l'agriculture et de l'énergie permettant aux bénéficiaires de la technologie de disposer d'un outil de développement durable dont l'objectif est de définir des modes de vie conciliant le progrès économique, la justice sociale et la préservation de l'environnement (figure 9).

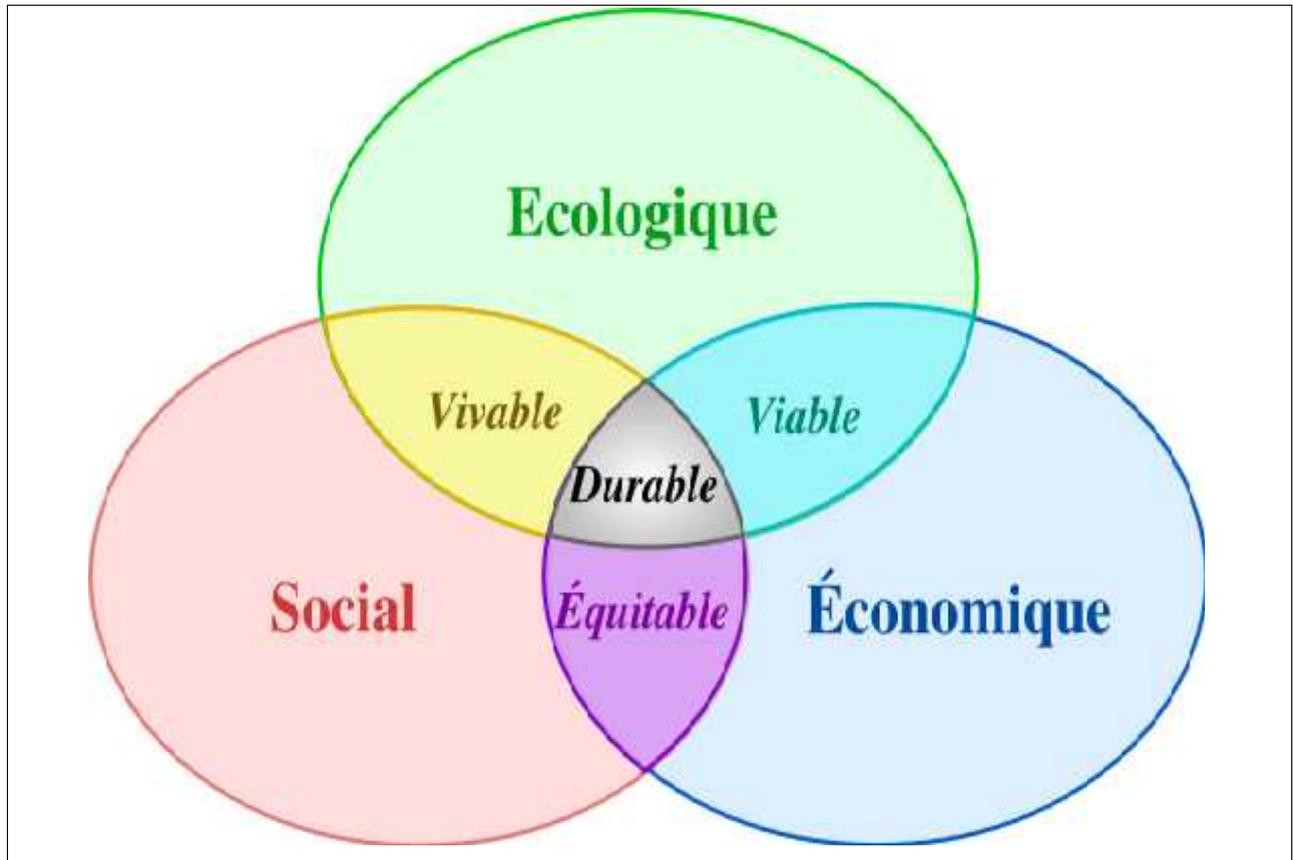


Figure 9 : Schéma du concept de Développement Durable (Hess, 2007)

Le Développement Durable répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.

L'épuisement des ressources naturelles et les effets tangibles du dérèglement climatique ont fait prendre conscience de la nécessité d'inclure une dimension environnementale dans le modèle de croissance des pays, basé uniquement sur des critères économiques (Hess, 2007).

Deuxième partie : Travail expérimental

Chapitre IV : Caractéristiques générales des ménages utilisateurs de biodigesteurs dans la région de Kaolack

4.1 Introduction

Une enquête menée auprès de l'échantillon de ménages choisis dans la région de Kaolack nous a permis de recueillir des informations dans les ménages bénéficiaires ou non bénéficiaires de biodigesteurs. Les caractéristiques socio-démographiques des ménages sont présentées dans ce chapitre.

L'objectif était de décrire les différentes activités des éleveurs autour du biodigesteur. La méthode d'enquête retenue pour appréhender le secteur de l'élevage et l'utilisation des biodigesteurs est l'enquête auprès des ménages (approche directe). Celle-ci a permis de collecter directement et facilement auprès des ménages et de leurs membres des informations sur le secteur de l'élevage et du biodigesteur.

Ce travail de terrain a également permis de connaître les caractéristiques des élevages laitiers de la zone, de construire une typologie fonctionnelle autour du biodigesteur et d'en décrire les pratiques d'utilisation.

4.2 Matériels et méthodes

4.2.1 Site de l'étude

L'étude a été réalisée dans la partie centrale du Sénégal dans la région administrative de Kaolack qui est localisée entre 14°30 mn et 16°30 mn de longitude ouest et 13°30 mn et 14°30 mn de latitude nord (Figure 10). Le climat est de type soudano-sahélien avec des températures élevées d'avril à juillet (35° - 40°C). Le relief est essentiellement plat avec trois types de sols : les sols tropicaux ferrugineux lessivés, les sols hydromorphes et les sols halomorphes. La végétation est très variée et comprend une savane arbustive au nord et une savane plus ou moins boisée vers le sud et le sud-est. La faune est essentiellement composée d'animaux sauvages à poils et à plumes aquatiques et terrestres. Le réseau hydrographique est composé du bras de mer le Saloum et des affluents du fleuve Gambie (Baobolong et Miniminiyang Bolong).

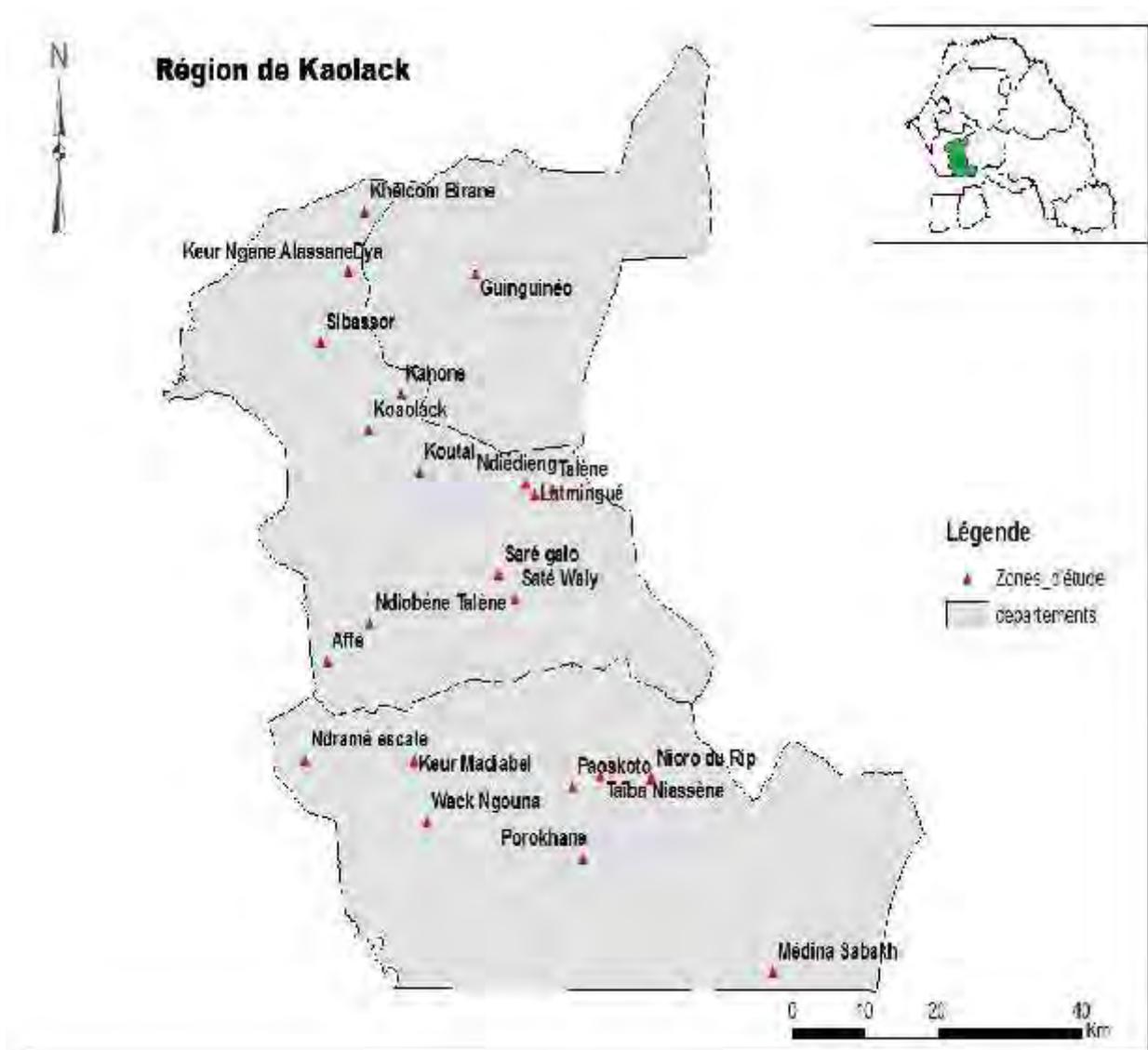


Figure 10 : Localisation de la zone d'étude sur la carte du Sénégal

Avec le nouveau découpage, la région de Kaolack compte : 3 départements, 10 communes, 8 arrondissements et 31 communautés rurales (ANSD, 2015b).

La région de Kaolack s'étend sur une superficie de 5 357 km², soit environ 2,8% du territoire national. Elle se situe ainsi entre la zone sahélienne sud et la zone soudanienne nord en constituant avec les régions de Kaffrine, Fatick et Diourbel le cœur du bassin arachidier.

D'après le dernier Recensement Général de la Population, de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage (RGPHAE), la région de Kaolack compte 960 875 habitants avec 50,6% de femmes contre 49,4% d'hommes. Cette population est inégalement répartie dans l'espace : le

département de Kaolack a une densité de 212 habitants/km², celui de Nioro 306 habitants/ km² et celui de Guinguinéo 61 habitants/ km². Elle est également très jeune (plus de 60%).

Les ethnies les plus représentées dans la région sont les wolofs avec plus de 60% de la population suivi du groupe halpulaar avec plus de 20%, les sérères environ 10%. Il existe en outre des ethnies minoritaires comme les bambaras, les maures, etc. (ANSD, 2014) .

La région de Kaolack est essentiellement agricole, 65% de la population active s'adonnent à l'agriculture. Les cultures sont diversifiées : arachide, céréales (mil souna, sorgho, maïs, riz), niébé, fonio, sésame, pastèques et cultures maraîchères.

L'élevage est de type extensif au niveau de la région de Kaolack. Le cheptel est constitué de bovins, d'ovins, de caprins, d'équins, de porcins et de volailles. En 2013, L'effectif du cheptel de la région de Kaolack est estimé à 128 431 bovins et 1 630 790 petits ruminants (CEP, MEPA, 2015) . La région reçoit en transhumance du bétail venant des régions et des pays limitrophes du Sénégal. Cependant, des fermes semi intensives se développent de plus en plus dans la zone périurbaine de Kaolack avec une forte pratique de l'embouche bovine et ovine ainsi que l'aviculture.

4.2.2 Echantillonnage

Cette étude a porté sur une population de cent seize ménages de la région de Kaolack dont cinquante-huit ménages détenteurs de biodigesteurs. Cette population représente 80,55% des biodigesteurs installés dans cette région et qui sont au nombre de soixante douze. Autant de ménages ne bénéficiant pas de biodigesteurs ont aussi été enquêtés dans le but d'avoir des éléments de comparaison avec les premiers. Les exploitations sont réparties dans 39 villages appartenant aux 3 départements de la région de Kaolack, (21 à Kaolack, 2 à Guinguinéo et 16 à Nioro) (Annexe 2). Pour la constitution de la population étudiée, les ménages qui ont bénéficié de l'installation du biodigesteur par le Programme National du Biogaz domestique (PNB) ont été choisis.

Pour une meilleure compréhension des activités ayant trait à l'élevage ou au biodigesteur, des entretiens ont été tenus avec les agents du PNB, des services techniques de l'élevage, des eaux et forêts.

4.2.3 Enquête de terrain

Un questionnaire d'enquête a été élaboré pour les besoins de cette étude. Celui-ci a pour objectif l'identification des caractéristiques sociodémographiques des ménages de la région, la structure de l'exploitation, le volet environnemental, les charges de l'exploitation, les produits de l'exploitation.

De manière spécifique, ces enquêtes ont pour objectifs de recueillir des informations sur l'identification des éleveurs, la constitution des troupeaux, la taille et la structure du troupeau, la taille du biodigester, sa fonctionnalité, son intérêt, les dépenses en combustibles et en engrais et le temps destiné à la collecte du bois.

Un autre outil de recueil de données a été également utilisé. Il s'agit d'un guide d'entretien destiné aux femmes qui utilisent différents types de combustibles. Il a permis de réaliser des interviews et prend en compte l'identification, le type de combustible utilisé, les dépenses énergétiques liées à la cuisson, le temps total nécessaire à la collecte du bois, les types de pathologies rencontrées avec l'utilisation d'un combustible autre que le biogaz.

Des enquêtes ont été réalisées auprès des ménages utilisateurs de biogaz et/ou d'autres sources d'énergie pour la cuisson. Une approche par appariement a été utilisée pour mener les enquêtes auprès des ménages ruraux petits producteurs de lait utilisateurs et d'autres non utilisateurs de biodigesteurs.

Par la suite, des observations directes ont été également faites au niveau des exploitations détentrices de biodigesteurs pour cerner les modes d'utilisations de cet outil.

Des personnes ressources comme les agents du programme National du Biogaz Domestique, des services techniques de l'élevage, des eaux et forêts ont également été rencontrées en vue de recueillir leurs avis et expériences par rapport à l'utilisation des biodigesteurs.

La collecte des données d'enquête a eu lieu entre juillet et août 2013 et les entretiens se sont déroulés entre mai et juillet 2014.

4.2.4 Analyses statistiques des données

Les données collectées ont été saisies et traitées avec les logiciels Sphinx Plus et SPSS 20. Afin d'atteindre nos objectifs de recherche, nous avons eu recours à la statistique descriptive (tris à plat, tableaux croisés).

Une approche par appariement est utilisée pour comparer les ménages utilisateurs de biodigesteurs et d'autres non utilisateurs. Le même nombre de ménages a été choisi dans les mêmes villages. Les caractéristiques observables et qui sont censés agir sur l'accès au biodigesteur telles que l'âge, le sexe, le niveau de scolarisation, la taille des ménages, le nombre de bovins, la superficie de culture permettent de faire la comparaison entre les individus.

Des tests d'égalité des moyennes sont aussi effectués à partir du logiciel R avec les hypothèses ci-après :

- H_0 : La différence entre les deux moyennes est nulle ;
- H_1 : la différence est différente de 0.

4.3 Résultats de l'enquête

4.3.1 Taille moyenne des ménages

Les ménages enquêtés sont en moyenne constitués de 18 individus. Plus de la moitié des ménages (55,20%) comptent entre 10 et 20 personnes. Le reste de la population est répartie dans les autres ménages avec 14,70% contenant moins de 10 personnes, 20,70% des ménages avec 20 à 30 personnes (Tableau V). Seuls 2 ménages sont constitués d'une grande famille avec plus de 60 membres constitués pour la plupart de jeunes enfants venus apprendre le coran dans ces familles.

Tableau V : Taille des ménages enquêtés

Taille du ménage de l'exploitation (nombre de personnes)	Nombre de ménages	Fréquence
< 10	17	14,70%
10 - 20	64	55,20%
20 - 30	24	20,70%
30 - 40	7	6,00%
40 - 50	1	0,90%
50 - 60	1	0,90%
> 60	2	1,70%
TOTAL	116	100%

4.3.2 Genre des exploitants

Les chefs de ménages enquêtés sont constitués de 79,30% d'hommes contre seulement 20,70% de chefs de ménage de sexe féminin.

Pour ce qui concerne l'âge, près de la moitié (47,40%) des chefs de ménage enquêtés étaient vieillissants avec un âge de 50 ans et plus (Figure 11). Une bonne partie de la population (45,70%) a un âge qui varie entre 35 et 50 ans et une infime partie (6,90%) constitue la population active avec un âge de 20 à 35 ans.

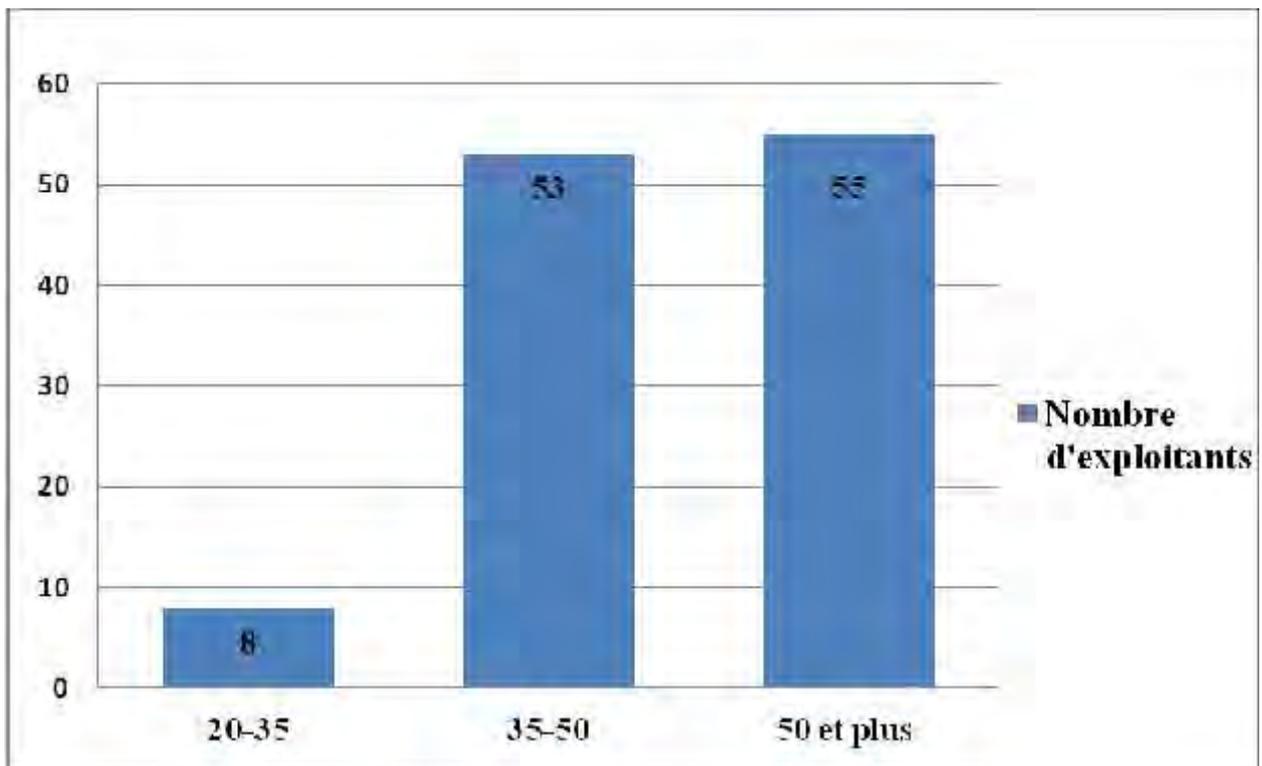


Figure 11 : Age des chefs de ménages enquêtés

La répartition de l'âge des populations en fonction du sexe montre que la majorité des femmes ont un âge variant de 35 à 50 ans (Figure 12). Ce sont des femmes mariées qui s'impliquent dans la gestion de l'exploitation. Ceci se confirme dans la tranche d'âge de 20 à 35 ans où il y'a autant d'hommes que de femmes.

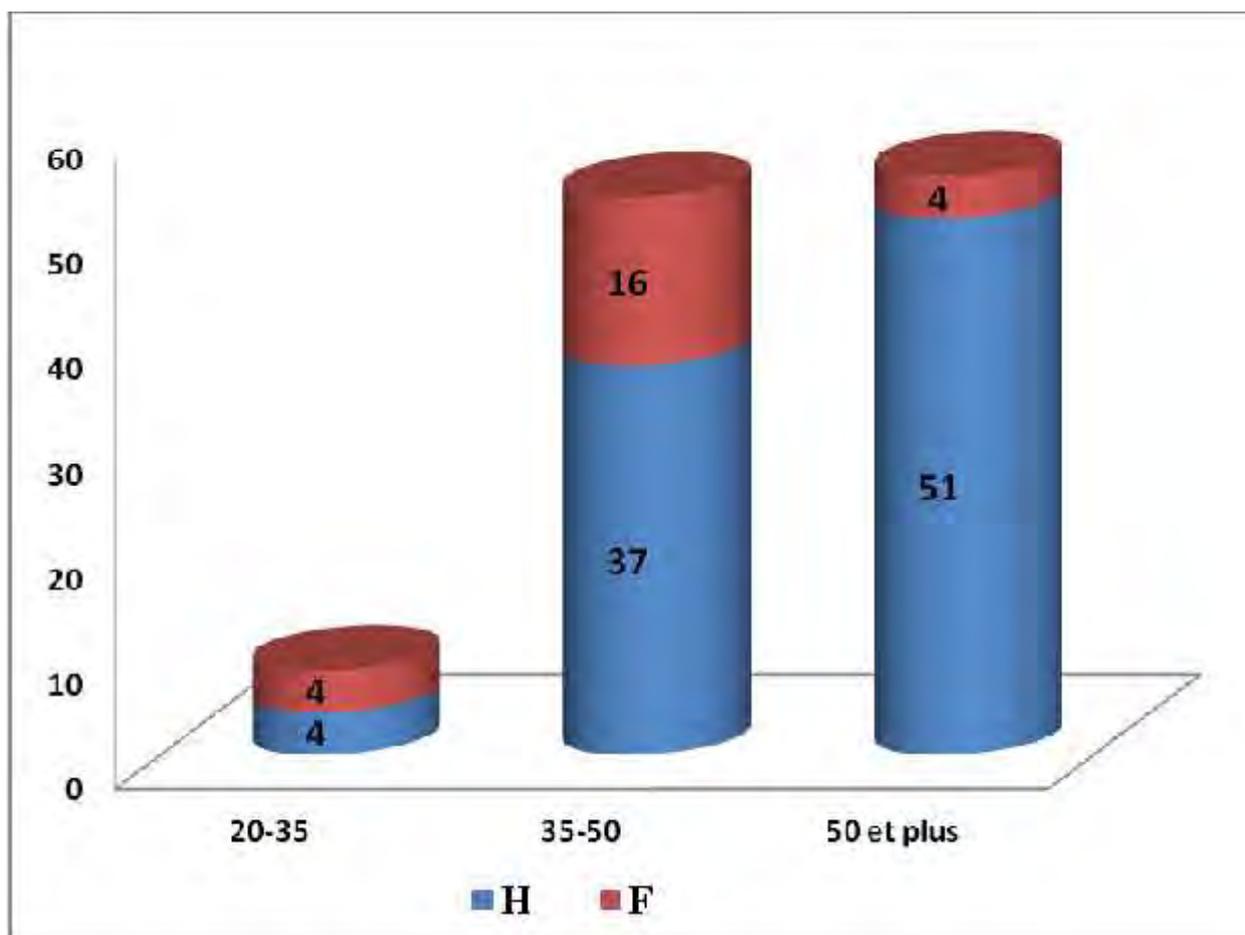


Figure 12 : Répartition de l'âge des chefs de ménages en fonction du sexe

4.3.3 Activités des chefs de ménages

Les chefs de ménages ont pour la plupart des activités d'élevage combinées à l'agriculture (76,72%). Ensuite ces deux activités peuvent être combinées à la maçonnerie, au commerce, à la couture, etc. (Tableau VI). Quant à l'élevage, il est pratiqué seul par 7,7% des chefs de ménage ou combiné à d'autres activités comme la pharmacie vétérinaire ou la pharmacie humaine avec seulement 2,58%.

Tableau VI : Activités des chefs de ménage

Activités	Nombre d'exploitations	Fréquence
Elevage, agriculture	89	0,77
Elevage, agriculture, autres	15	0,13
Elevage	9	0,08
Elevage, autres activités	3	0,02
Total	116	1

4.3.4 Les productions agricoles et animales dans les exploitations enquêtées

La section précédente a montré que les chefs de ménages enquêtés sont constitués d'agropasteurs alliant l'élevage et l'agriculture. Le tableau VII fait ressortir les superficies cultivées dans les ménages enquêtés avec 84,48% cultivant des superficies variant de 2 à 6 ha. Les espèces cultivées sont le mil, le maïs, l'arachide, le niébé, etc.

Tableau VII : Superficies cultivées dans les exploitations

Superficie	Nombre de ménages	Fréquence
moins de 2 ha	11	9,50%
2 et 4	68	58,60%
4 et 6	30	25,90%
6 et 8	5	4,30%
8 et 10	1	0,90%
10 et 12	0	0,00%
12 ha et plus	1	0,90%
TOTAL	116	100%

L'élevage est pratiqué dans toutes les exploitations qui se différencient essentiellement par les espèces animales existantes et le nombre de bovins élevés. La majorité des ménages enquêtés (73) ont moins de 20 têtes de bovins et les exploitations avec un grand nombre de bovins (plus de 100 bovins) sont au nombre de 2 (tableau VIII).

Tableau VIII : Nombre de têtes de bovins

Nombre de bovins	Nombre de ménages
20	73
20-40	26
40-60	8
60-80	5
80-100	2
100	2
Total	116

4.3.5 Le niveau d'instruction

Les chefs d'exploitation enquêtés sont à 50% des illétrés, 18,96% sont instruits à l'éducation non formelle (école coranique, alphabétisation en langues nationales) et 31,03% ont reçu une instruction formelle (enseignement primaire et/ou secondaire et/ou universitaire).

4.3.6 Sources d'énergie utilisée dans les ménages

La figure 13 fait ressortir les différents types d'énergie utilisée dans les exploitations enquêtées. Elle fait une comparaison du nombre de ménage utilisateurs ou non de biodigester en fonction du type d'énergie utilisée.

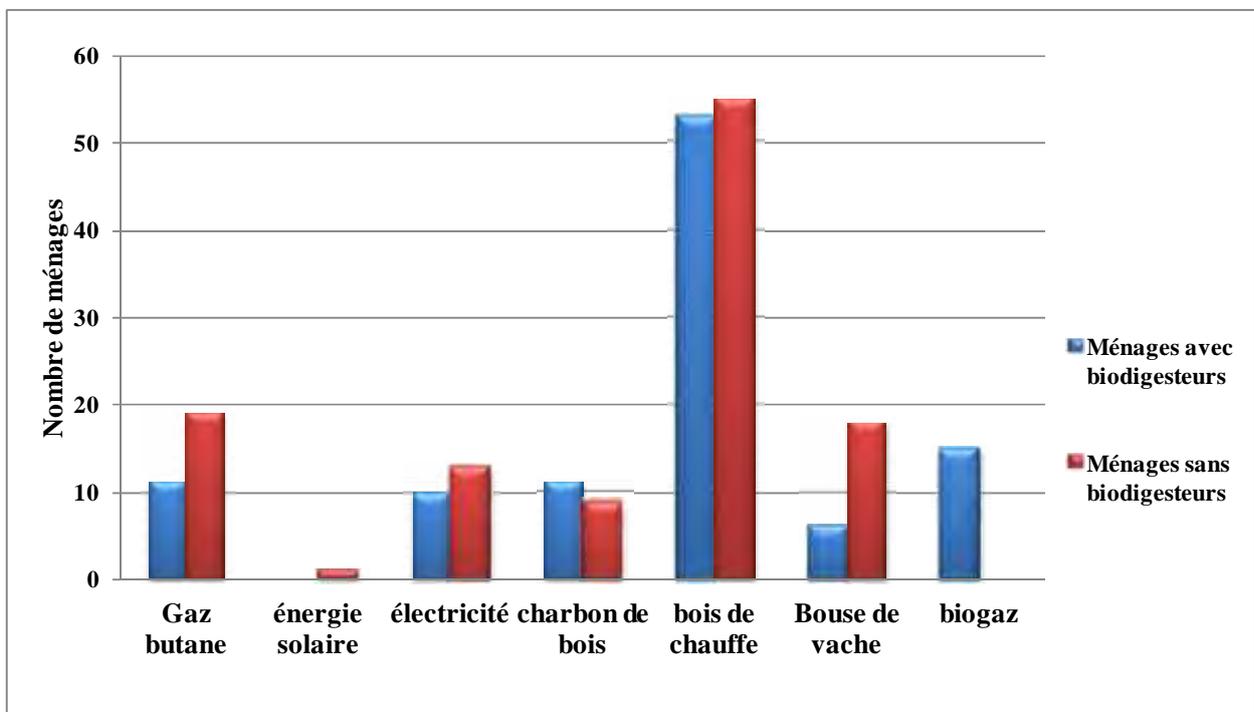


Figure 13 : Sources d'énergie utilisée dans les ménages

Le bois de chauffe est plus utilisé comme énergie pour la cuisson aussi bien dans les exploitations avec biodigester que dans les exploitations sans biodigesteurs. Dans les deux types d'exploitations, d'autres sources d'énergie sont utilisées pour la cuisson des repas et il s'agit du gaz butane, du charbon de bois et de la bouse de vache.

Les énergies utilisées pour l'éclairage des concessions sont l'électricité et dans une moindre mesure l'énergie solaire. Quant au biogaz, il est utilisé pour l'éclairage et la cuisson mais seulement dans très peu de concession.

4.4 Caractéristiques des biodigesteurs

Les biodigesteurs visités étaient de différentes capacités comme notées dans la figure 14.

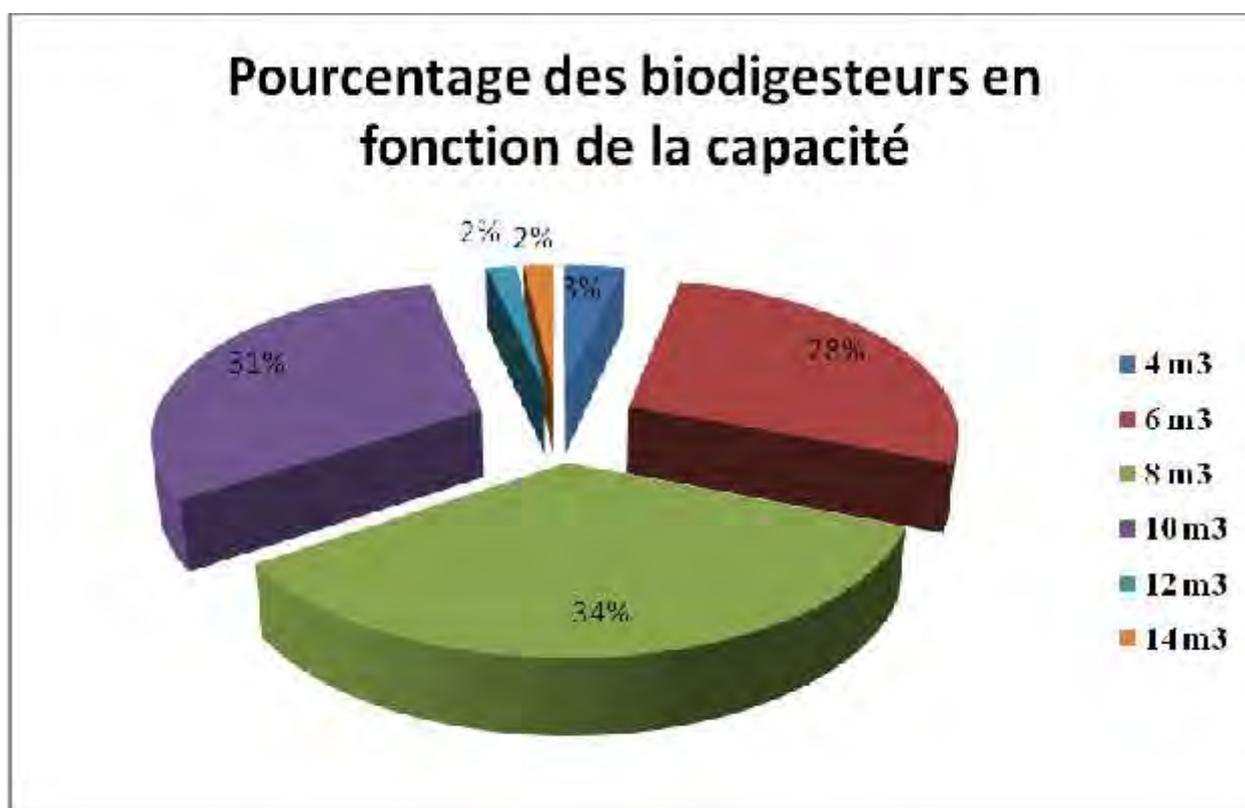


Figure 14 : Répartition des biodigesteurs en fonction de la capacité

La majeure partie des biodigesteurs visités sont de 6m³, 8m³ et 10m³ avec respectivement 16, 20 et 18 exploitations qui les ont installé.

Parmi ces biodigesteurs installés, seuls 19 fonctionnaient normalement, 2 de manière saisonnière et 37 ne fonctionnent plus (Tableau IX).

Tableau IX : Niveau de fonctionnalité des biodigesteurs

Fonctionnalité des biodigesteurs	Nombre de biodigesteurs	Fréquence
Oui	19	0,33
Non	37	0,64
Saisonnière	2	0,03
total	58	1

Il est constaté un fort taux de biodigesteurs non fonctionnels (64%) contre seulement 36% de biodigesteurs fonctionnels.

4.4.1 Causes de non fonctionnalité des biodigesteurs

Plusieurs raisons font qu'il y a un taux élevé de biodigesteurs qui ne fonctionnaient pas et les plus fréquentes sont retracées sur la figure 15.

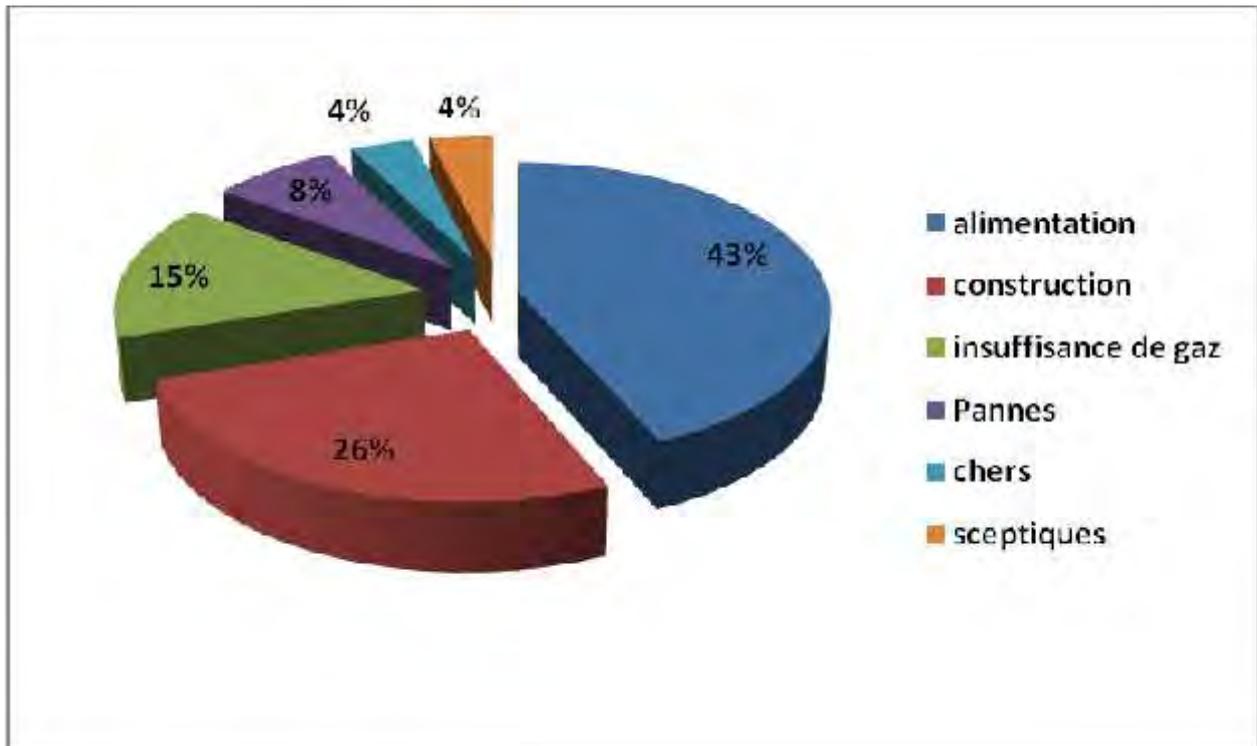


Figure 15 : Causes du non fonctionnement des biodigesteurs

Quarante trois pour cent (43%) des biodigesteurs ne fonctionnaient pas puisque les propriétaires ont du mal à les alimenter normalement et de manière continue parce que, soit les animaux ne sont pas dans la concession et ils ont du mal à trouver la quantité de bouse nécessaire pour le chargement, soit les femmes et les jeunes enfants qui doivent s'en charger trouvent ce travail trop lourd. Vingt six pour cent (26%) des biodigesteurs ont des défauts de construction, 15% produisent du gaz mais insuffisamment, 8% ont des pannes, 4% disent qu'ils ont du mal à stabuler les animaux parce que l'alimentation coûte cher et 4% se disent sceptiques quant aux résultats apportés par le biodigesteur.

4.4.2 Intérêts du biodigesteur

Le choix d'installer ou non un biodigesteur est incité par un intérêt social ou économique (figure 16).

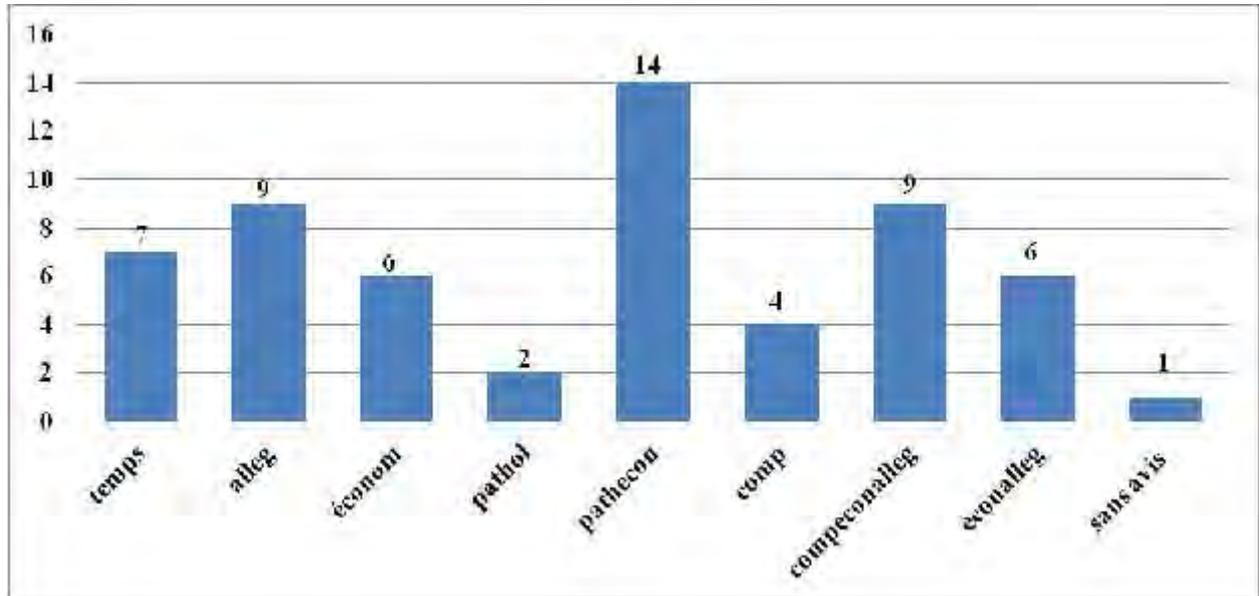


Figure 16 : Avantages du biodigesteur

Alleg : allégement ; comp : compost ; compeconalleg : compost-économique-allégement ; econ : économique ; econalleg : économique et allégement ; path : pathologie ; pathecon : pathologie et économie.

Vingt sept pour cent (27%) de la population trouve l'intérêt du biodigesteur principalement pour l'allégement du travail, 11% pour l'économie faite sur l'achat de combustible et d'engrais pour les cultures, 22% pour la fumure organique qui en ressort et qui est utilisé pour la fertilisation des champs, 28% pour la réduction des pathologies causées par l'utilisation du feu de bois et 12% pour la réduction du temps qui était auparavant consacré à la recherche du bois (figure 16).

4.4.2.1 Gain de temps

Le biodigesteur permet, entre autres avantages, aux ménages de gagner beaucoup plus de temps auparavant consacré à la recherche de bois et la cuisson (figures 17 et 18).

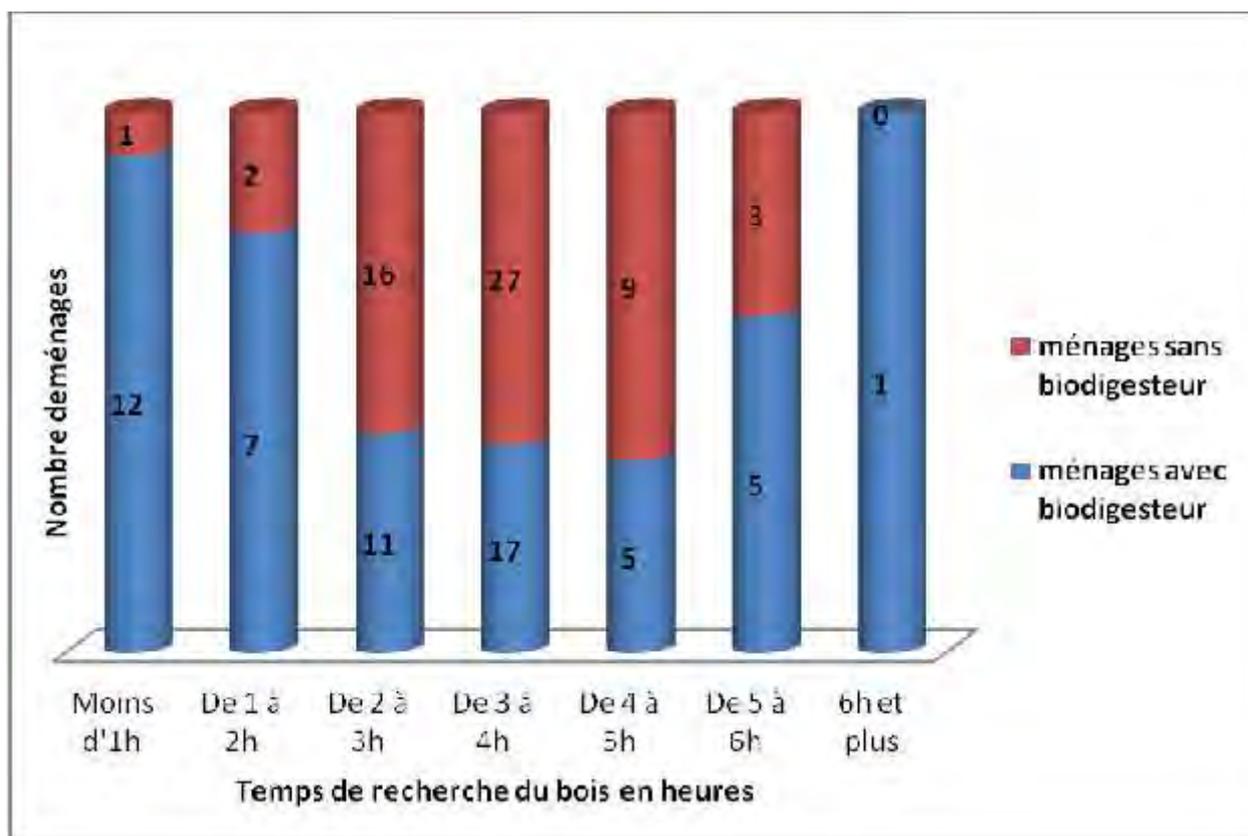


Figure 17 : Temps destiné à la recherche de bois des ménages enquêtés

Les ménages sans biodigesteur mettent beaucoup plus de temps pour la recherche du bois et pour la cuisson (figure 17).

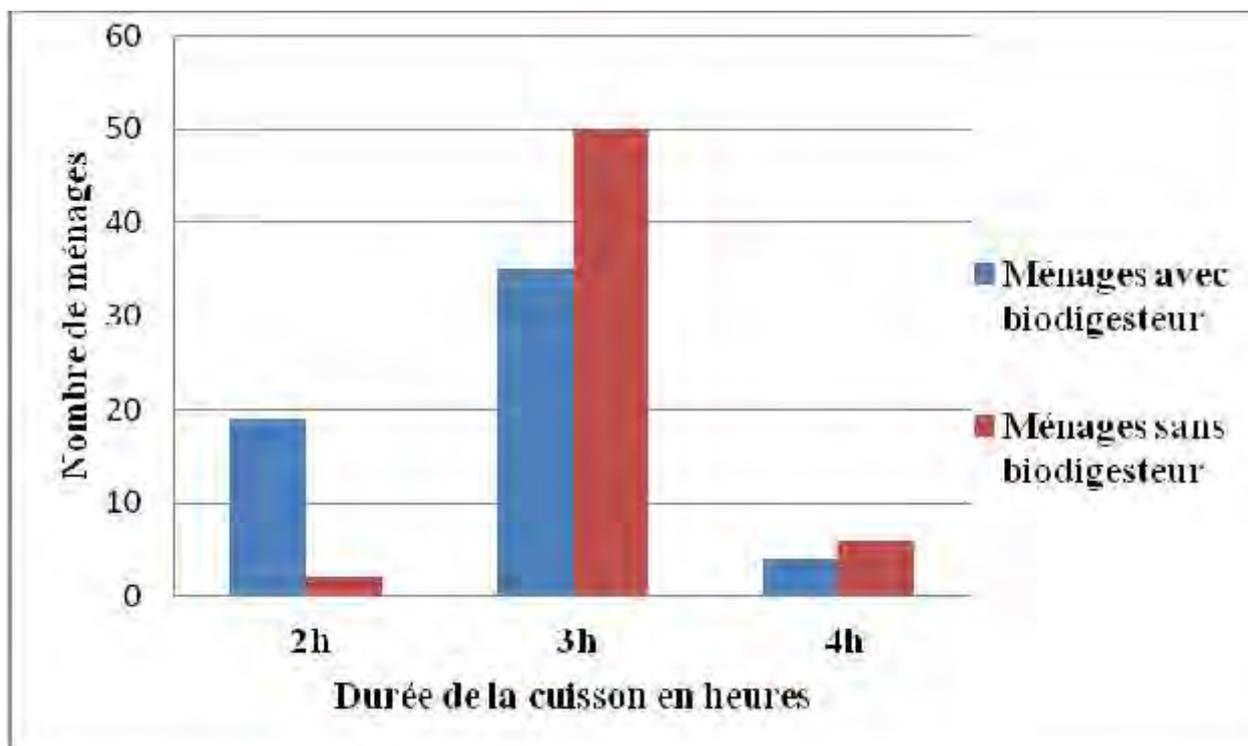


Figure 18 : Temps destiné à la cuisson des ménages

Près d'un tiers des ménages avec biodigesteurs (32,8%) mettaient moins de 2h par jour pour la recherche du bois et 2h pour la cuisson d'un repas contre 67,25% de ménages sans biodigesteurs qui y consacraient 2 à 6h par jour et mettent plus de 3h pour la cuisson d'un repas (Figure 18).

4.4.2.2 Apports énergétiques du biodigesteur

Le biodigesteur fonctionnel fournit aux ménages de l'énergie pour la cuisson et pour l'éclairage (figure 19).

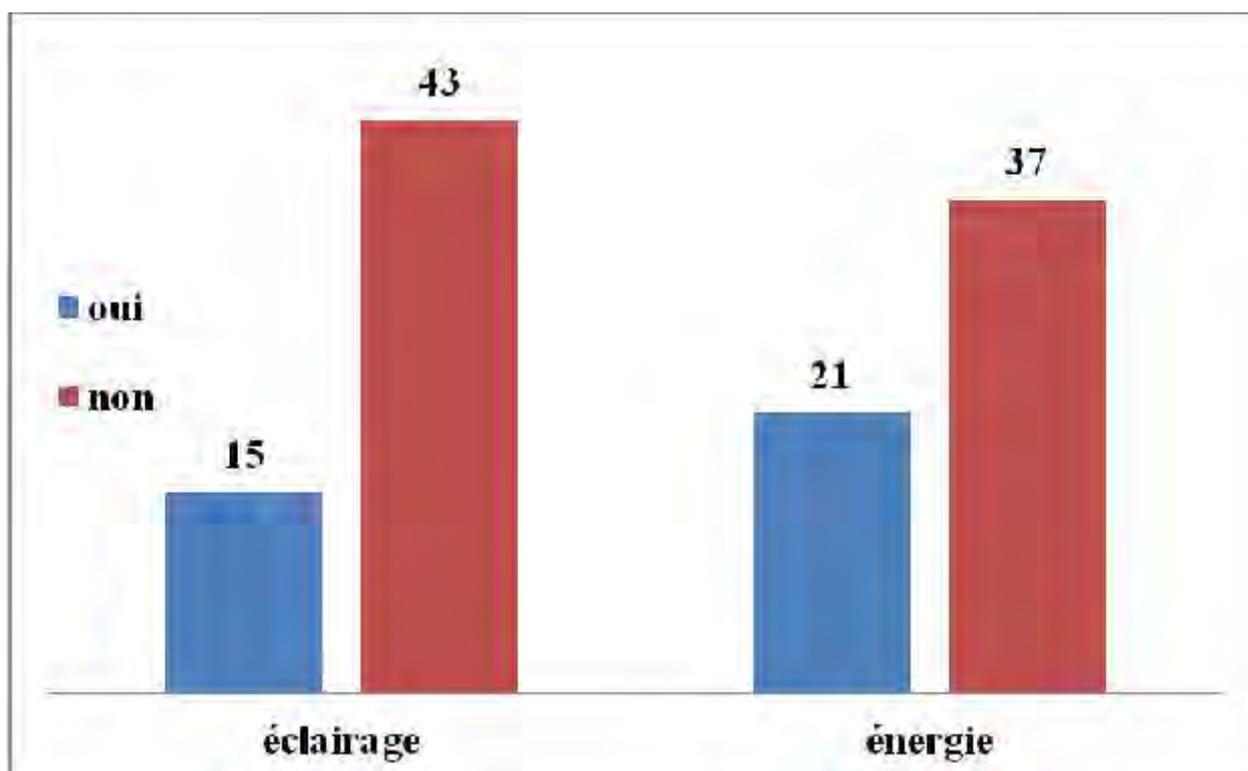


Figure 19 : utilisation du biogaz

Plus du quart (25,86%) des ménages avec biodigesteurs utilisaient le biogaz comme source d'éclairage. De même, 36,20% préparent les repas et pasteurisent le lait avec le biogaz.

4.4.2.3 Réduction des pathologies liées à la fumée

La fréquence des pathologies respiratoires et oculaires était beaucoup plus basse au niveau des exploitations utilisatrices de biodigesteurs respectivement 34 cas et 31 cas contre 57 et 51 au niveau des exploitations sans biodigesteurs (Figure 20).

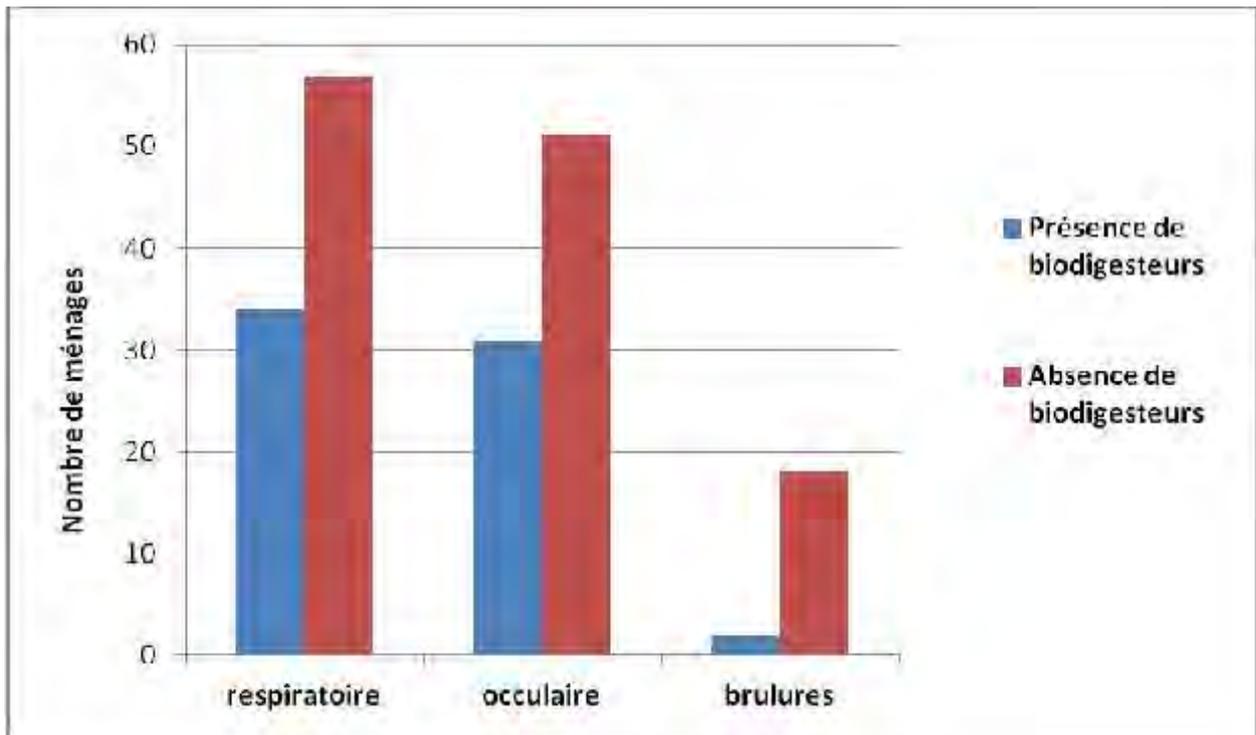


Figure 20 : Fréquence des pathologies liées à la fumée

4.4.2.4 Les avantages économiques de l'utilisation du biogaz

Les ménages sans biodigesteurs dépensaient mensuellement en moyenne 3150 FCFA pour l'achat de bois et de charbon contre 1350 FCFA pour les ménages utilisateurs du biodigesteur. Ce résultat est confirmé par le test d'égalité des moyennes ($p=0,018$).

Le digestat qui ressort du biodigesteur est utilisé comme composte pour la fertilisation des champs et peut aussi être source de revenu (figure 21).

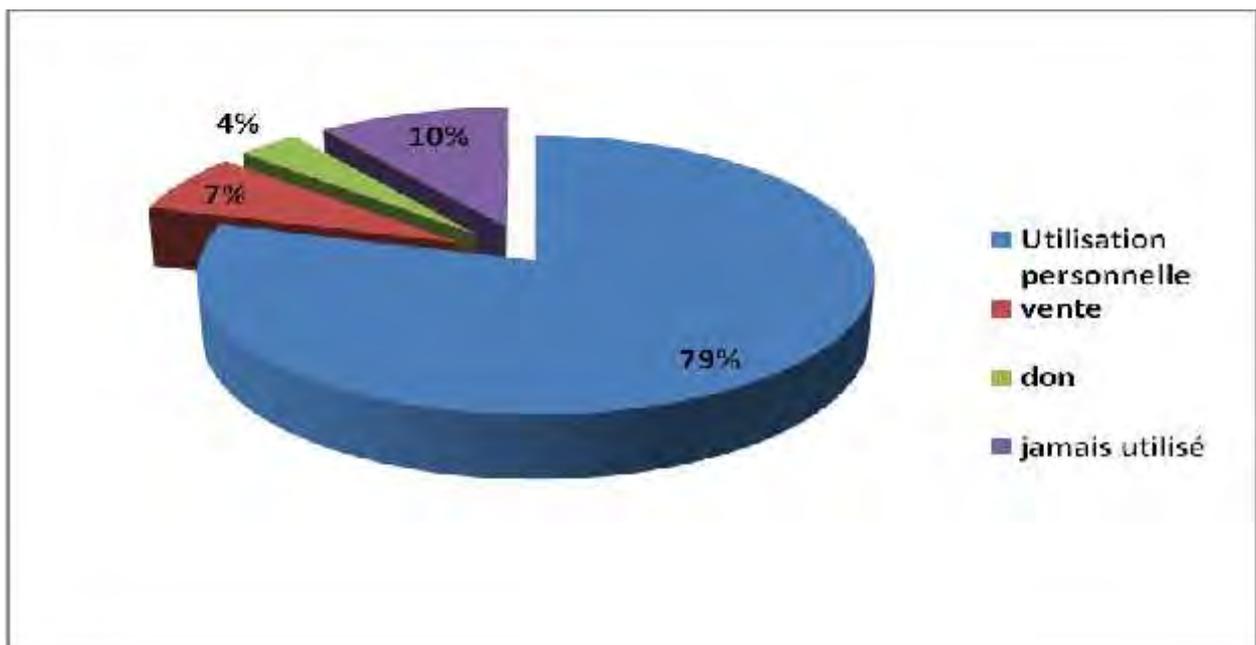


Figure 21 : destination du compost

Le composte est généralement utilisé à des fins personnelles pour 79% des ménages même si près de 7% le commercialisent, 4% le donnent à d'autres personnes et 10% des ménages ne l'ont jamais utilisé.

L'utilisation du composte issu des biodigesteurs permet de réduire l'utilisation de l'engrais chimique, 37 765 FCFA contre 62 624 FCFA par hectare pour les détenteurs et non détenteurs de biodigesteurs respectivement. Il y a une différence significative sur l'achat d'engrais chimique entre les utilisateurs du compost issu du biodigesteur et les non utilisateurs de ce compost ($p = 0,00025$).

Le tableau X fait la synthèse des caractéristiques et des différents avantages des biodigesteurs. Il ressort le mode de financement des biodigesteurs qui à 95% est sur fonds propres associés à la subvention de l'Etat. Cinq pour cent (5%) est un don à des maçons du PNB pour donner l'exemple de l'utilité du biodigesteur aux populations. Il permet aussi de visualiser le niveau de fonctionnalité des biodigesteurs, la durée d'utilisation, la capacité et l'intérêt du biodigesteur mais aussi l'utilisation du composte qui en ressort.

Tableau X : Caractéristiques des biodigesteurs

1

Mode financement	Don	fonbail						
Pourcentage	5,2%	94,8%						
Fonctionnement	Non	Oui	Saisonnaire					
Pourcentage	63,8%	32,8%	3,4%					
Durée d'utilisation	-1	0	1	2	3			
Pourcentage	3,6%	3,6%	14,3%	76,8%	1,8%			
Capacité	4	6	8	10	12	14		
Pourcentage	3,4%	27,6%	34,5%	31,0%	1,7%	1,7%		
Intérêt bio-digesteur	Alleg	comp	compeconalleg	econ	econalleg	path	pathecon	tps
Pourcentage	15,5%	6,9%	17,2%	10,3%	10,3%	3,4%	24,1%	12,1%
Utilisation composte	défaut (dur)	défaut (patte)	jamais utilisé	pas de compost	perso	Perso_don	Perso_vente	vente
Pourcentage	1,8%	1,8%	5,4%	5,4%	76,8%	1,8%	5,4%	1,8%

¹ Fonbail : financement sur fond propre et bailleur

Alleg : allégement ; comp : compost ; compeconalleg : compost-économique-allégement ; econ : économique ; econalleg : économique et allégement ; path : pathologie ; pathecon : pathologie et économie ; tps : temps ; perso : utilisation personnelle ; perso-don : utilisation personnelle et don ; perso-vente : utilisation personnelle et vente.

4.5 DISCUSSION

4.5.1 Taille des ménages

La taille moyenne des ménages enquêtés est de 18 individus et elle est relativement élevée, comparée à celle trouvée dans une étude menée à Niakhar dans la région de Fatick et qui est de 11,6 individus (Adjamagbo *et al*, 2006).

4.5.2 Genre des exploitants

Quatre vingt pour cent (80%) des chefs de ménage de l'échantillon sont des hommes comparé à la région de Kaolack où les hommes et les femmes se répartissent équitablement (50% d'hommes et 50% de femmes) (ANSD, 2014) de même que comparé à l'étude de (Adjamagbo *et al*, 2006) où le même résultat est constaté.

La région de Kaolack est constituée d'une population relativement jeune (plus de 60% de jeunes) (ANSD, 2014).

4.5.3 Activités des chefs de ménages

La société sère qui caractérise l'essentiel de la population de la zone d'étude se définit comme une « société paysanne » dont l'économie repose traditionnellement sur l'association entre une production agricole (basée sur un système cultural perfectionné : jachère, rotation, cultures intercalaires), et l'élevage (Lericollais, 1999). De même, outre ces principales activités (agriculture et élevage), le mode de vie villageois génère d'autres types de métiers comme la menuiserie, l'artisanat et le commerce entre autres (Guigou, 1992). Ceci confirme les résultats présentés plus haut où les populations pratiquent en plus de l'agriculture et l'élevage d'autres activités.

4.5.4 Productions agricoles et animales dans les exploitations enquêtées

Nos résultats sont similaires à ceux de (Dione *et al*, 2008)) puisqu'ils rapportent que dans le bassin arachidier, les principales cultures sont l'arachide et le mil et en cultures de diversification le maïs, le niébé, le sésame mais les superficies cultivées sont moindres avec

des emblavures variant de 0,20 à 3 ha. De même l'élevage des bovins est prédominant mais avec des effectifs de 12 têtes de bovins à Kaffrine et à Fatick.

4.5.5 Niveau d'instruction

La moitié des chefs d'exploitation sont des illettrés privilégiant l'enseignement coranique et aussi très tôt l'agriculture et les activités génératrices de revenus.

4.5.6 Sources d'énergie utilisée dans les ménages

Les résultats trouvés dans cette étude sont similaires au reste du Sénégal où les sources d'énergie sont constituées essentiellement de la biomasse à 57% suivie des produits pétroliers 38% et une infime partie utilise l'énergie solaire.

4.5.7 Caractéristiques des biodigesteurs

Environ 36,20% des ménages qui ont mis en place des unités de production de biogaz ont enregistré un certain succès. La cible idéale pour une installation de biogaz de 10 m³ est un agriculteur avec 2 à 5 vaches totalement stabulées, ou 5 à 10 vaches stabulées la nuit et en pâturage le jour. Avec ces ressources, l'agriculteur est en mesure de répondre aux exigences de cuisson et d'éclairage d'une famille de 5 à 8 membres. De façon générale, le biodigesteur est particulièrement apprécié dans les ménages fortement peuplés où le bois de chauffe constitue un problème majeur (Rao *et al*, 2010).

4.5.8 Causes de non fonctionnalité des biodigesteurs

Les ménages qui ont rencontré des difficultés sont essentiellement ceux pour qui, le fumier disponible est insuffisant pour le fonctionnement du biodigesteur ou ceux pour qui les unités de biogaz ont été mal construites. Souvent, il s'agit de paysans qui ne nourrissaient le bétail à l'étable que le matin et le soir, les animaux étant conduits au pâturage le reste de la journée. De même, les producteurs dont les animaux étaient en transhumance, pendant la période des enquêtes avaient des difficultés pour bien faire fonctionner leurs biodigesteurs. Les ménages qui possédaient seulement un ou deux bovins ont également des problèmes pour réunir la

quantité de fumier nécessaire au bon fonctionnement du biodigesteur, surtout lorsque la taille du ménage est assez importante. L'alimentation régulière du digesteur est également une tâche difficile pour certains ménages qui laissent ce travail aux femmes puisqu'elles sont les premières à bénéficier des résultats du biodigesteur. Ce serait plus facile si toute la famille était impliquée dans la gestion quotidienne de l'installation.

4.5.9 Intérêts du biodigesteur

Le biodigesteur permet d'économiser le bois de chauffage et l'argent dépensé pour l'énergie. Les agropasteurs qui constituent la majorité de l'échantillon et qui ont adopté une approche intégrée de cultures et d'animaux dans leurs fermes connaissent plus de succès parce qu'ils utilisent le compost pour fertiliser leurs champs.

4.5.9.1 Gain de temps

Avoir un biodigesteur dans un ménage est également associé à des gains significatifs de temps consacré à la collecte du bois de feu, à la cuisson (Akinbami *et al*, 2001).

4.5.9.2 Apports énergétiques du biodigesteur

Il a été démontré en Chine que la mise en œuvre des biodigesteurs peut provoquer une réduction de 40% de l'utilisation du bois comme énergie de cuisson dans les familles de deux zones rurales de Chine (Peidong *et al*, 2009). Cette réduction de la consommation du bois est due à l'utilisation du biogaz. Ce résultat est semblable à la réduction de 44% de la consommation de bois obtenue dans les fermes laitières kényanes avec biodigesteurs (Dohoo *et al*, 2013). Cette présente étude permet aussi de constater des résultats similaires avec des réductions de 42,85% des dépenses sur l'achat de bois et de charbon.

4.5.9.3 Réduction des pathologies liées à la fumée

L'utilisation du biogaz permet une réduction des pathologies surtout respiratoires, oculaires et des cas de brûlures comme en attestent les résultats d'une étude sur les opportunités et défis de la production de bioénergie dans les pays en développement (Surendra *et al*, 2013). De même, une étude menée au Népal a fait ressortir que le biogaz peut avoir des avantages importants pour la santé (Farouque et Hameed, 2012). Sur 42 répondants d'une enquête menée en 2000 auprès d'utilisateurs de biogaz qui avaient des problèmes respiratoires dans le passé, il a été signalé que le problème s'est amélioré pour 34 d'entre eux (Acharya *et al.*, 2005).

4.5.9.4 Avantages économiques de l'utilisation du biogaz

Le biodigesteur augmente de manière significative la production car ce digestat peut servir comme un amendement agricole à cause de ses qualités fertilisantes vu sa teneur en Azote, Phosphore, Potassium, Calcium, etc. (Saidi et Abada, 2007). Ils économisent de l'argent qui aurait été par ailleurs utilisé pour acheter de l'engrais et du temps utilisé pour préparer le composte, car le purin n'a besoin d'aucun traitement avant utilisation.

4.6 Conclusion partielle

Cette étude fournit des preuves d'améliorations vers moins de dépendance vis-à-vis du bois comme combustible et une meilleure qualité des conditions de vie en milieu rural plus particulièrement pour les femmes qui se chargent de la recherche du bois et des tâches de cuisson. Les exploitations ayant des biodigesteurs signalent également des améliorations dans la production agricole grâce à l'utilisation d'engrais et la réduction de la quantité de fumée de bois à laquelle elles sont exposées.

En raison de l'importance croissante accordée à l'utilisation durable des ressources naturelles, les biodigesteurs devraient être considérés sous un angle beaucoup plus large, particulièrement le rôle potentiel qu'ils jouent dans le recyclage des éléments fertilisants et qui réduit la dépendance des engrais minéraux et facilite donc la pratique de l'agriculture biologique. Nos résultats mettent en évidence la diversité des avantages créés par cette technologie et fournissent une justification pour une enquête plus approfondie sur les impacts réels de l'utilisation des biodigesteurs dans les exploitations laitières, mais aussi l'adaptation de cette technologie à des stérilisateurs, des réfrigérateurs pour faciliter la transformation et la conservation du lait à la ferme.

Cependant, les détenteurs de biodigesteurs rencontrent des difficultés liées à l'entretien et à la maintenance des biodigesteurs. Des pannes sont souvent notées et les utilisateurs ne disposent pas de technologie pour la réparation et le Programme National Biogaz n'est pas toujours disponible pour aider les bénéficiaires dans l'entretien et la réparation.

Chapitre V : Caractérisation des facteurs d'adoption du biodigesteur

5.1 Introduction

Les producteurs du monde rural appartiennent majoritairement à des communautés qui dépendent des ressources naturelles marginales pour leur subsistance (Fokou *et al*, 2011).

L'accès aux moyens d'existence est affecté par la variabilité climatique, la dégradation des ressources naturelles et les conflits pour l'accès à celles-ci. L'élevage constitue une des principales activités dans ces zones. Pour garantir la sécurité alimentaire des populations et une exploitation durable des écosystèmes, les acteurs du développement rural de l'Afrique de l'Ouest sont confrontés au défi de la conception d'une agriculture plus productive et plus durable (Vall *et al*, 2012). Cette agriculture vise à mieux utiliser les processus naturels pour augmenter la productivité de l'exploitation agricole tout en participant à l'entretien de l'écosystème où elle s'insère. Le biodigesteur est donc un outil qui vise l'intensification écologique avec des systèmes plus productifs mais moins exposés aux risques de pollution et donc moins nocifs pour l'environnement.

L'objectif de ce chapitre est d'identifier le niveau d'acceptabilité et le processus d'appropriation de cette innovation technologique mais aussi de ressortir les raisons qui ont conduit à l'adoption ou non du biodigesteur.

5.2 Matériel et méthodes

5.2.1 Matériel

Le même matériel utilisé dans le chapitre IV (deuxième partie) est encore utilisé ici. Il s'agit d'un questionnaire d'enquête qui avait pour objectif l'identification des caractéristiques sociodémographiques des ménages de la région, la structure de l'exploitation, le volet environnemental, les charges de l'exploitation, les produits de l'exploitation.

Un guide d'entretien a été également utilisé et il a permis de réaliser des interviews qui prennent en compte l'identification, le type de combustible utilisé, les dépenses énergétiques liées à la cuisson, le temps total nécessaire à la collecte du bois, les types de pathologies rencontrées avec l'utilisation d'un combustible autre que le biogaz.

5.2.2 Méthodes

Une enquête visant à recueillir des informations quantitatives à travers un questionnaire a été réalisée au niveau de 116 ménages répartis dans les 13 communautés rurales de la région de Kaolack. Parmi ces 116 enquêtés, la moitié est utilisatrice de biodigester.

Ayant le souci d'identifier et de modéliser l'effet de variables explicatives sur l'adoption des biodigesteurs (variable à expliquer), un modèle de régression logistique a été utilisé.

Les statistiques descriptives sont réalisées avec le logiciel SPSS 20 pour les calculs de fréquence, de moyenne et d'écart type et l'estimation du modèle est effectuée avec le logiciel R. Le t-test est utilisé pour comparer les écarts entre les valeurs moyennes.

L'étude des facteurs explicatifs de l'utilisation d'un biodigester est réalisée à travers une analyse descriptive des données quantitatives. Elle est aussi approfondie par l'utilisation d'outils économétriques d'analyse de variables qualitatives compte tenu de la binarité du facteur explicatif : adoption ou non des biodigesteurs. Ainsi, à travers un modèle logit un certain nombre de variables (variables indépendantes) ont été adoptées pour l'explication de l'utilisation ou non de cette innovation : le sexe du chef de ménage, son type et niveau de scolarisation, son âge, la superficie de son champ, le nombre de tête de bovins de son exploitation et la taille du ménage.

Le modèle global s'écrit :

$$\text{logit}(p(x)) = \beta_0 + \beta_1 \text{sup} + \beta_2 \text{Bovins} + \beta_3 \text{menage} + \beta_4 \text{prixcomb} + \beta_5 \text{prieng} + \beta_6 \text{tpscol}$$

La validité globale du modèle est effectuée à travers le test de Wald qui mesure l'écart entre le modèle trivial (réduit à une constante) et le modèle étudié.

5.3 Résultats

5.3.1 Caractéristiques sociodémographiques des exploitations selon l'adoption des biodigesteurs

Les adoptants des biodigesteurs sont les paysans qui disposent d'au moins deux à trois bovins dans l'exploitation. Le nombre de bovins a été considéré comme critère d'adoption pour ne pas avoir à prendre tous les producteurs comme des adoptants.

5.3.2.1 Le sexe

L'échantillon de l'étude compte 24 exploitations dirigées par des femmes contre 92 gérées par des hommes (tableau XI).

Tableau XI : Répartition des adoptants selon le sexe

Adoption	Genre		Total
	Homme	Femme	
Non adoptants	45	13	58
Adoptants	47	11	58
Total	92	24	116

Sur les 58 adoptants des biodigesteurs seuls 11 sont des femmes soit 19% de l'échantillon contre 47 hommes soit 81%.

5.3.1.2 L'âge

Les adoptants et les non adoptants de biodigesteurs ont respectivement 48 et 49 ans (tableau XII).

Tableau XII : Comparaison de l'âge des adoptants et des non adoptants

Age	N	Moyenne \pm Ecart type	t = 0,31
Non adoptants	58	48,96 \pm 9,366	
Adoptants	58	48,18 \pm 9,165	
Total	116	48,57 \pm 9,265	

Il n'y a donc pas de différence significative entre leurs âges.

5.3.1.3 Le niveau d'instruction

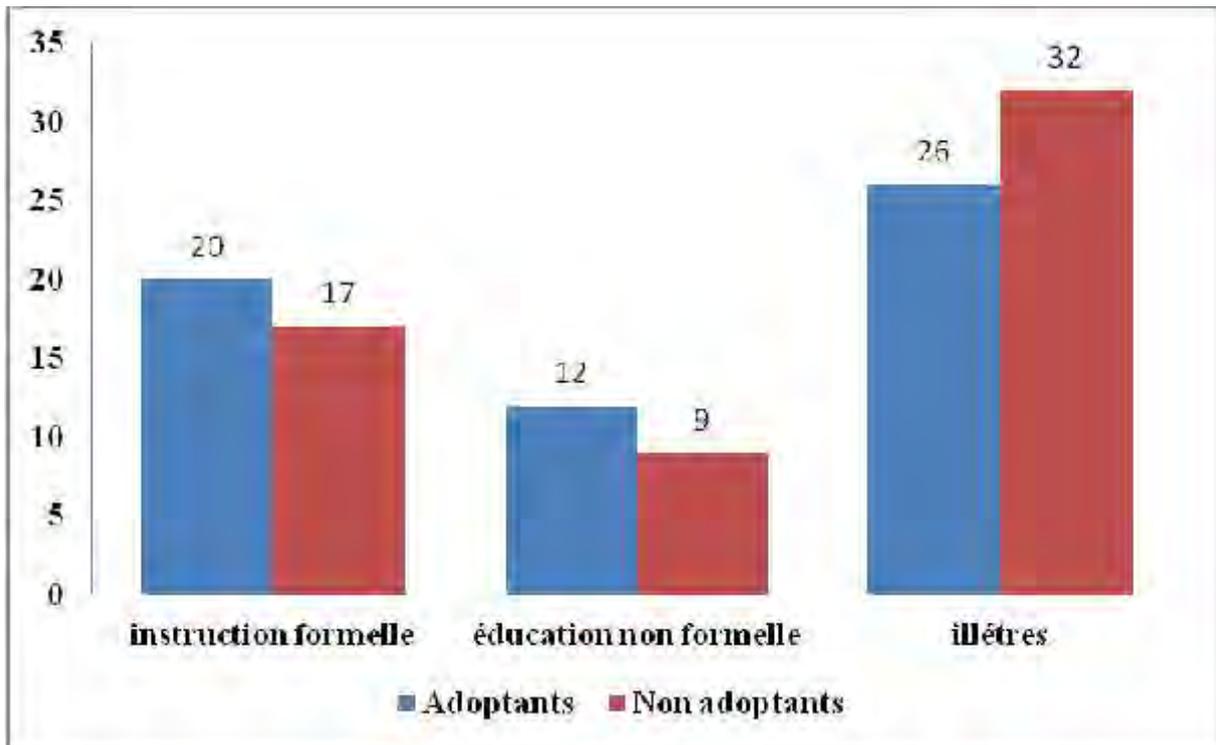


Figure 22 : Adoption des biodigesteurs selon le niveau d'instruction

Trente quatre pour cent (34%) des adoptants de biodigesteurs ont reçu une éducation formelle, 21% sont instruits à l'éducation non formelle c'est-à-dire une éducation à l'école coranique ou alphabétisés en langues nationales et 45% sont des illettrés. Par rapport aux non adoptants qui ont reçu moins d'éducation formelle ou non formelle, respectivement 29% et 16% et qui comptent aussi plus d'illettrés (55%).

5.3.2 Facteurs explicatifs de l'utilisation de biodigesteur

5.3.2.1 Sélection des variables explicatives

Les variables sélectionnées dans le modèle ont été testées une à une à un seuil de significativité de 25% (Tableau XIII).

Tableau XIII : Estimation des variables explicatives

Variables qualitatives	Modalités	Pr(> z)
Sexe	Sexe_H	0,647
	Ecole coranique-Alphabétisation	1,000
	Ecole coranique et française	0,992
Type	Ecole coranique	0,991
	Ecole française	0,992
	Non scolarisé	0,992
	Pas_niveau	0,745
Niveau	secondaire	0,526
	universitaire	0,307
	35-50	0,881
âge	50 et plus	0,885
	Variables quantitatives	
		Pr(> z)
Superficie		0,0407
Bovins		0,122
Taille du ménage		0,170
Prix combustible		0,00189
Prix engrais		0,0249
Temps de collecte		0,00054

Ainsi, le sexe, le type et le niveau de scolarisation, l'âge ainsi que le type de combustible utilisé ne sont pas significatifs à 25%. Les variables qui influencent significativement au seuil de 25% sont la superficie des champs, le nombre de bovins, la taille du ménage, le prix du combustible, le prix de l'engrais et le temps de collecte.

5.3.2.2 Estimation du modèle global

Le modèle global s'écrit :

$$\text{logit}(p(x)) = \beta_0 + \beta_1 \text{sup} + \beta_2 \text{Bovins} + \beta_3 \text{menage} + \beta_4 \text{prixcomb} + \beta_5 \text{prieng} + \beta_6 \text{tpscol}$$

Le modèle estimé donne les coefficients suivants (tableau XIV) :

Tableau XIV : Estimation des variables par le modèle de régression logistique

Variab les	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
Intercept	1,58E+00	1,08E+00	1,463	0,14334
Sup	4,77E-01	2,10E-01	2,271	0,02313
Bovins	2,91E-02	1,31E-02	2,22	0,02643
Taille du ménage	3,71E-02	3,55E-02	1,044	0,29671
Pricomb	-1,65E-04	6,26E-05	-2,641	0,00826
Prieng	-8,70E-06	3,33E-06	-2,613	0,00896
Tpscol	-6,58E-01	2,37E-01	-2,777	0,00548

Sup : Superficie ; Bovins : Nombre de bovins ; Pricomb : Prix du combustible ;
Prieng : Prix de l'engrais ; Tpscol : Temps de collecte du bois

Toutes les variables sont significatives à 5% sauf la variable taille du ménage. De ce fait une seconde estimation au seuil de 5% est réalisée en l'absence de la variable taille du ménage, ceci en vue d'affiner le modèle. L'estimation donne dans ce cas les résultats présentés ci-après (tableau XV) :

Tableau XV : Estimation des variables du modèle affiné

Variab les	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
sup	6,77E-01	1,89E-01	3,577	0,000348
Bovins	3,29E-02	1,25E-02	2,633	0,008455
pricomb	-1,14E-04	5,24E-05	-2,174	0,029716
prieng	-6,90E-06	2,84E-06	-2,428	0,0152
tpscol	-3,96E-01	1,68E-01	-2,353	0,018603

Sup : Superficie ; Bovins : Nombre de bovins ; Pricomb : Prix du combustible ;
Prieng : Prix de l'engrais ; Tpscol : Temps de collecte du bois

Dans ce second modèle estimé, toutes les variables sont significatives à 5%. Il est apparu que la p-value de $9,26^{E-07}$, donc le modèle est globalement significatif à 5%.

La superficie du champ et les nombres de bovins influent négativement sur l'utilisation du biodigesteur contrairement au prix du combustible, au prix de l'engrais et au temps de collecte. Les variables sont données pour un accroissement de 10% c'est-à-dire une comparaison entre deux valeurs dont l'écart est de 10. Autrement dit, la probabilité pour

qu'un individu ayant un champ de 10 ha n'utilise pas un biodigester est 0,66 plus élevée qu'un individu ayant un champ de 1 ha (tableau XVI).

Tableau XVI : Probabilité d'utilisation du biodigester en fonction des variables

Variabes	Cote	Probabilité d'utilisation
sup	1,97	0,66
Bovins	1,03	0,51
pricomb	1,00	0,50
prieng	1,00	0,50
tpscol	1,49	0,60

Sup : Superficie ; Bovins : Nombre de bovins ; Pricomb : Prix du combustible ; Prieng : Prix de l'engrais ; Tpscol : Temps de collecte du bois

En termes de cote, celle d'un individu ayant un champ de 1 ha est 1,97 fois moins élevée que celle d'un individu ayant un champ de 0,1 ha. De même, la probabilité pour qu'un individu ayant 10 bovins utilise un biodigester est 0,51 fois moins élevée qu'un individu ayant juste 1 bovins. Pour ce qui est du prix du combustible et de l'engrais, un individu dont le prix auquel il achète le combustible ou l'engrais est 10 fois plus élevé, a une probabilité 0,5 fois plus élevée d'utiliser un biodigester qu'un autre individu. Le temps de collecte est un facteur influençant aussi l'utilisation du biodigester dans la mesure où il est 0,4 fois plus probable de trouver un biodigester chez un individu dont le temps de collecte est 10 fois plus élevé qu'un autre (la cote est de 1,49).

5.4 DISCUSSIONS

Deux nuances doivent être apportées. La première porte sur l'adoption du biodigester pour une utilisation simple ou non de la technologie adoptée, et la seconde s'applique à l'intensité d'adoption ou le niveau auquel la technologie adoptée est mise en œuvre. Ainsi l'adoption d'une nouvelle technologie est un processus nécessitant une quantité importante d'informations pertinentes tant sur les propriétés génériques de la nouvelle technologie que sur les conditions de son application au cas particulier d'un adoptant spécifique (Schumpeter, 1934). L'existence d'adoptants et de non adoptants signifie que l'intérêt des biodigesteurs n'est pas perçu au même degré par l'ensemble des adoptants potentiels (Baco *et al*, 2010).

5.4.1 Caractéristiques sociodémographiques des exploitations selon l'adoption des biodigesteurs

Les caractères socio-démographiques des exploitations peuvent avoir une certaine influence sur l'adoption ou non d'une nouvelle technologie.

5.4.1.1 Le sexe

L'approche par le genre permet d'examiner les activités, les responsabilités, les opportunités dans la vie de chaque membre d'une communauté, prenant en compte les relations existant entre les hommes et les femmes (Baco *et al*, 2010). Il a donc été question d'analyser le rôle joué par les femmes chef d'exploitation dans les exploitations productrices de lait et détentrices de biodigesteur.

5.4.1.2 L'âge

L'âge n'influence pas l'adoption du biodigesteur puisqu'il n'y a pas de différence significative entre l'âge des adoptants et des non adoptants qui ont respectivement 48 et 49 ans. Ce résultat est similaire à celui de (Baco *et al*, 2010) dans une étude menée au Bénin sur l'introduction de variétés améliorées de maïs où il n'existe pas de différence significative entre l'âge des adoptants et des non adoptants qui est respectivement de 43 ans et 44 ans. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle les jeunes seraient plus ouverts aux innovations que les anciens ne se confirment pas. Il a donc été conclu que les jeunes, les adultes tout comme les vieux s'engagent dans des processus dynamiques innovants.

5.4.1.3 Le niveau d'instruction

Le niveau de scolarisation des adoptants de biodigesteurs n'est pas significatif et n'est donc d'aucune influence pour le choix de l'adoption de cette innovation. Parmi les propriétaires, 34,48% ont reçu une éducation formelle avec des niveaux d'étude variés (primaire, secondaire et universitaire) mais aussi 20,69% d'entre eux qui ont suivi une éducation non formelle c'est-à-dire une éducation à l'école coranique ou alphabétisés en langues nationales tout comme également des illettrés (44,83%).

Pourtant le niveau d'instruction augmente l'aptitude à décoder et à comprendre les informations relevant des décisions innovantes (Wozniak, 1984). Mais, l'hypothèse selon laquelle les paysans ayant un niveau d'instruction plus élevé sont plus aptes à adopter les technologies ne se vérifie pas dans cette étude.

Contrairement à l'étude menée au Bangladesh où les années d'études du chef de ménage sont positivement corrélées, à un niveau de signification de 1%, à l'adoption du biodigesteur qui augmente de 18,9% avec l'ajout d'une année d'études (Kabir, 2012).

5.4.2 Facteurs explicatifs de l'utilisation de biodigesteur

L'existence d'adoptants et de non adoptants signifie que l'intérêt des biodigesteurs n'est pas perçu au même degré par l'ensemble des adoptants potentiels (Baco *et al*, 2010). De façon générale, le biodigesteur est particulièrement apprécié dans les zones où les ménages sont fortement peuplés et où le bois de chauffage constitue un problème majeur (Rao *et al*, 2010). Dans une étude menée au Bénin, la taille de la famille influence positivement l'adoption des variétés améliorées de maïs. De même, la disponibilité de la famille réduit les contraintes de main d'œuvre auxquelles les paysans font face dans la production du maïs (Baco *et al*, 2010). Ce qui n'est pas corroboré par les résultats obtenus dans cette étude où la variable taille du ménage n'est pas significative à 5% et les variables superficie du champ et nombre de bovins influe négativement l'utilisation du biodigesteur. Ceci peut être expliqué d'une part, par le fait que les éleveurs peinent à procéder à une stabulation de leur troupeau compte tenu de l'accès difficile (coûts élevés) et de la disponibilité de l'alimentation notamment à certaines périodes de l'année. C'est la raison pour laquelle, les éleveurs utilisent les pâturages pour nourrir leurs bovins autant qu'ils le peuvent. Les animaux ne sont donc pas présents sur place tout le temps alors que cette pratique de méthanisation requiert la disponibilité des effluents d'élevage qui constituent le substrat typique traité par méthanisation (Bolzonella *et al*, 2013). La présence de bovins, dont les effluents sont particulièrement utilisés dans cette zone, est donc nécessaire.

L'adoption du biodigesteur dans cette zone est influencée par des facteurs économiques et sociaux. Il s'agit de la superficie du champ et du nombre de bovins qui influent négativement l'utilisation du biodigesteur mais aussi du prix du combustible, du prix de l'engrais et du temps de collecte du bois de chauffe qui, par contre, favorisent l'adoption du biodigesteur.

En effet, les ménages qui cultivent de plus grandes superficies agricoles ou qui détiennent le plus grand nombre de bovins ont du mal à adopter le biodigester ou ont beaucoup plus de difficultés pour le faire fonctionner normalement pour ceux qui l'ont déjà installé. Les raisons de ces attitudes sont expliquées un peu plus haut mais pour les superficies, le résultat n'est pas conforme au gain noté par rapport à l'achat d'engrais.

Les difficultés d'accès au crédit des producteurs et l'aversion au risque ont toujours été citées comme des éléments importants des résistances à l'adoption (Alary, 2006). C'est pourquoi, le PNB apporte un appui aux adoptants de biodigesteurs sous forme de subventions pour la construction de l'ouvrage quelque soit la dimension.

En résumé, l'utilisation de technologies alternatives telles que le biogaz se déroule dans un environnement complexe dans lequel une combinaison de facteurs tels que la technologie, la volonté politique, l'économie, et la motivation personnelle sont tous essentiels pour son adoption et la vulgarisation.

Les agents de vulgarisation des services comme l'ANCAR, CARITAS, H₂O et les agents du PNB ont joué un rôle déterminant pour le choix de l'adoption ou non du biodigester. La communication était essentielle pour une bonne compréhension et une bonne perception de l'intérêt de cette innovation car l'introduction de nouvelles technologies crée une demande d'informations nécessaires pour le processus de leur adoption (Wozniak, 1984). Le contact avec les agents de vulgarisation influence positivement l'adoption ; en effet, il permet aux paysans d'acquérir de nouvelles informations et connaissances (Adesina et Baidu-Forson, 1995).

5.5 Conclusion partielle

Le biodigester est une innovation technique introduite dans la région de Kaolack et qui permet la dégradation des déchets d'élevage. L'analyse des facteurs qui ont surtout favorisé l'adoption de cette innovation a fait ressortir des facteurs économiques plutôt que des facteurs institutionnels, structurels ou sociotechniques. Le prix du combustible, le prix de l'engrais et le temps de collecte ont surtout guidé le choix des exploitants qui ont choisi d'installer un biodigester. Nos résultats mettent en évidence la diversité des avantages créés par cette technologie, et fournissent une justification pour une enquête plus approfondie sur les impacts réels de l'utilisation des biodigesteurs dans les exploitations laitières, mais aussi l'adaptation de cette technologie à des stérilisateur, des réfrigérateurs pour faciliter la transformation et la conservation du lait à la ferme.

Chapitre VI : Typologie des exploitations avec biodigester et les impacts de son utilisation

6.1 Introduction

L'innovation technique est souvent présentée comme le levier principal de l'amélioration des performances économiques et des conditions de vie des exploitations agricoles familiales. Elle constitue de ce fait un moyen d'adaptation face à la variabilité de l'environnement socio-économique (Pédelahore *et al*, 2011). Les problèmes causés par les énergies d'origines fossiles mènent à une quête de sources d'énergie renouvelable et propre et le développement de solutions permettant de diversifier l'offre énergétique adaptée au contexte local et à la portée des populations est urgent. Les installations de biogaz domestique constituent une opportunité pour améliorer les conditions de vie des familles les plus pauvres, tout en préservant l'environnement.

L'objectif de ce chapitre est de présenter une typologie des exploitations utilisatrices des biodigesteurs dans la région de Kaolack et de faire ressortir les impacts de l'utilisation de cet outil dans chaque groupe d'utilisateurs.

6.2 Matériel et méthodes

6.2.1 Matériel

Afin de disposer d'une base d'échantillonnage pour choisir les exploitations qui feront l'objet d'une étude d'impact, une typologie des exploitations utilisatrices des biodigesteurs a été effectuée à partir des données d'enquêtes réalisées préalablement.

Pour la typologie, il a été utilisé le même questionnaire d'enquête qui a servi dans les autres chapitres. Ce questionnaire d'enquête a pris en compte l'identification des caractéristiques sociodémographiques des ménages de la région, la structure de l'exploitation, le volet environnemental, les charges de l'exploitation, les produits de l'exploitation. Ces informations ont été complétées par le même guide d'entretien utilisé dans les chapitres précédents.

Pour ressortir les impacts de l'utilisation du biodigesteur dans les différents groupes formés à la suite de la typologie, un guide d'entretien a été utilisé pour une meilleure prise en charge des impacts économiques, sociaux et environnementaux. Il a pris en compte entre autres, les dépenses en énergie pour la cuisson et pour l'éclairage des concessions mais aussi pour l'engrais, la réduction de la déforestation, la libération de temps pour des activités sociales grâce à la réduction des corvées de collecte de bois.

6.2.2 Méthodologie

Les enquêtes ayant permis de réaliser la typologie sont effectuées dans 58 exploitations détentrices de biodigesteurs réparties dans 13 communautés rurales de la région de Kaolack.

Les typologies d'exploitations représentent un outil qui a pour objet d'ordonner, de regrouper les exploitations semblables pour adapter les interventions.

Ce chapitre entre dans ce cadre et permet de regrouper les exploitations selon l'utilisation faite du biodigesteur mais aussi des gains qui en sont tirés.

Pour l'étude d'impacts, une enquête secondaire a été réalisée avec un échantillon de 30 exploitations sur les 58 détentrices de biodigesteurs soit 51,72%. Ces exploitations sont choisies de manière arbitraire dans les différents groupes obtenus de la typologie.

Les traitements statistiques ont été effectués grâce aux différentes méthodes d'analyse des données avec les logiciels R pour la typologie et XLSTAT pour les radars permettant de déterminer les impacts. Afin d'identifier et de définir des groupes homogènes sur la base de proximité entre les variables, une analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) a été précisément utilisée.

6.2.2.1 Méthodologie de construction de la typologie

L'analyse factorielle des correspondances multiples est une technique statistique qui vise à représenter un grand nombre d'observations sur un graphique, appelé plan factoriel. Elle est utilisée dans les cas où les variables statistiques sont qualitatives et vise essentiellement à identifier et caractériser des groupes plus ou moins homogènes d'utilisateurs de biodigesteurs.

a) Codage des variables

Il a été procédé dans un premier temps, à la définition des classes, au codage des variables, à l'établissement des modalités pour chaque variable, à la suppression des variables redondantes ou inexploitable.

La typologie est basée sur les pratiques autour des biodigesteurs. Ainsi, les variables relatives aux pratiques ou aux modes de gestion du biodigesteur ont été regroupées en 5 modalités :

- Les variables de structures qui renseignent sur l'environnement de l'exploitation et qui ne rentrent pas directement dans la typologie mais permettent d'interpréter les groupes ainsi formés. Il s'agit :
 - du département ;
 - de la communauté rurale ;
 - du village ;
 - du sexe du chef de ménage ;
 - de son âge ;
 - de la superficie ;
 - du nombre de personnes du ménage ;
 - du combustible utilisé avant l'installation du biodigesteur.
- Les variables de caractérisation du biodigesteur :
 - La capacité du biodigesteur ;
 - Le mode de financement ;
 - La fonctionnalité ;
 - La durée d'utilisation.
- Les variables relatives à l'usage du biodigesteur :
 - L'éclairage que fournit le biodigesteur ;
 - L'énergie ;
 - L'utilisation du compost issu du biodigesteur ;
 - La quantité de compost qui ressort du biodigesteur ;
- Les variables liées aux contraintes du biodigesteur :
 - Le prix du combustible utilisé dans l'exploitation ;
 - La dépense en engrais par superficie emblavée ;
 - Le temps de collecte du bois.
- Les variables de perception

- L'intérêt du biodigesteur

Les mesures de similarité entre les différents groupes de variables ont été obtenues avec les ratios d'inertie pour la recherche de facteurs communs (Tableau XVII).

Tableau XVII : ratio d'inertie

Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
0.5027719	0.3021039	0.3085807	0.2735046	0.2759817

b) Définition des groupes

L'étude de la répartition des groupes sur les graphiques de l'AFM (et le retour au fichier initial de données) a permis de dégager les caractéristiques de chaque groupe.

L'histogramme des indices de niveaux a permis de choisir une partition à 3 nœuds (4 classes).

L'analyse de l'histogramme des valeurs propres permet d'identifier le nombre d'axes à considérer.

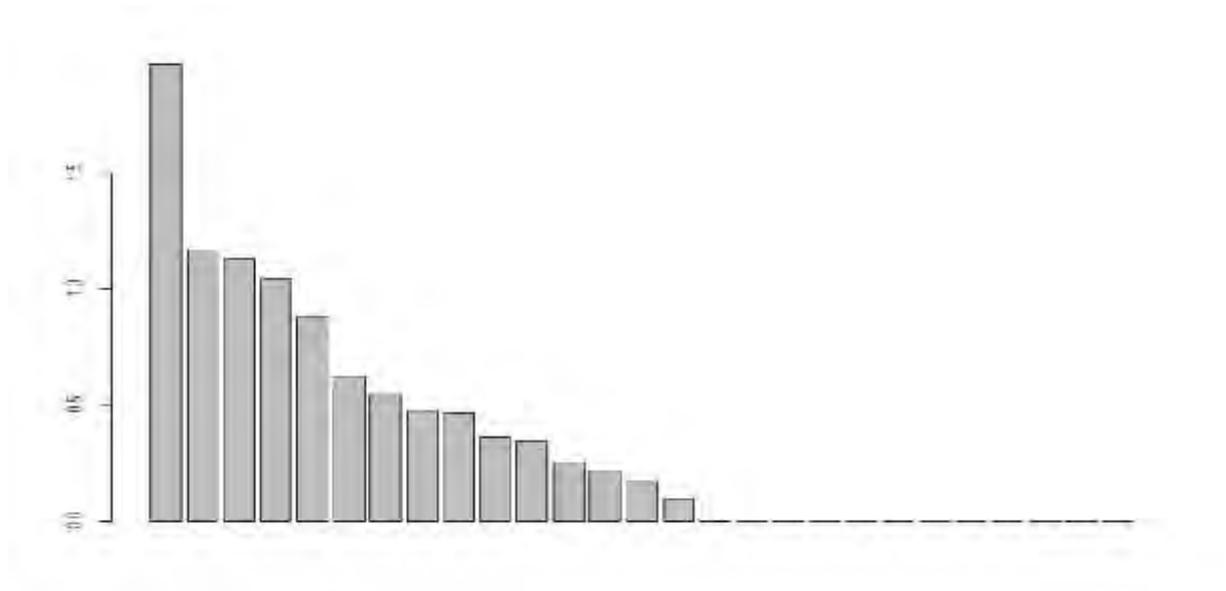


Figure 23 : Diagramme des valeurs propres de l'AFM biodigesteurs

L'étude de la répartition des groupes sur les graphiques de l'AFM (et le retour au fichier initial de données) a permis de dégager les caractéristiques de chaque groupe.

6.2.2.2 Méthodes d'études des impacts de l'utilisation des biodigesteurs

a) Choix de l'échantillon

Un échantillon de 30 exploitations sur les 58 détentrices de biodigesteurs soit 51,72%. Ces exploitations sont choisies de manière arbitraire dans les différents groupes obtenus de la typologie soit :

- 8 sur les 16 exploitations du groupe A non utilisatrices du biodigesteur ;
- 11 sur les 21 exploitations du groupe B utilisatrices du compost ;
- 3 sur les 6 exploitations du groupe C – Cuisson, compost ;
- 8 sur les 15 exploitations du groupe D – Eclairage, cuisson, compost.

b) Critères d'évaluation des performances des biodigesteurs

Le choix des indicateurs retenus pour évaluer les performances des biodigesteurs résulte de deux préoccupations : (i) pouvoir évaluer les impacts environnementaux des biodigesteurs étudiés, en référence à la déforestation et aux fortes émissions de gaz à effet de serre provenant des effluents d'élevage ; (ii) pouvoir évaluer les performances sociales et économiques des biodigesteurs selon les critères mis en avant par les producteurs dans le choix de l'adoption de cette innovation (Tableau XVIII).

Tableau XVIII : Liste des indicateurs utilisés pour évaluer les performances des biodigesteurs

Impacts	Indicateurs
Economique	Réduction des dépenses en énergie pour la cuisson des repas du ménage
	Réduction des dépenses en engrais minéraux de l'exploitation agricole
	Réduction des dépenses en énergie pour l'éclairage du ménage
Environnemental	Réduction de la déforestation dans l'air de collecte de bois habituel
	Amélioration de la fertilité des sols où l'on applique les boues du biodigesteur
Social	Amélioration du confort de vie du ménage
	Réduction des pathologies respiratoires des cuisinières
	Libération de temps pour des activités sociale grâce à la réduction des corvées de collecte

c) Evaluation des impacts du biodigesteur dans chaque groupe

Les résultats moyens des indicateurs sont présentés pour chaque type d'exploitations, sur des graphiques de type « radar ». Sur ces radars, la meilleure performance est créditée de la note 5, la moins bonne de la note -5, les autres types d'exploitations se positionnant entre -5 et 5 selon un calcul de proportionnalité.

Ces graphiques de types radar ont permis de représenter les impacts sociaux à travers l'amélioration du confort de vie, la réduction de pathologies respiratoires et le gain de temps, de même que les impacts environnementaux à travers la réduction de la déforestation et l'amélioration de la fertilité des sols.

6.3 Résultats

6.3.1 Typologie des exploitations utilisatrices de biodigesteurs

Le plan constitué permet de mieux représenter ces individus et donc de les grouper. Sur la figure 24 se distinguent plus ou moins quatre groupes.

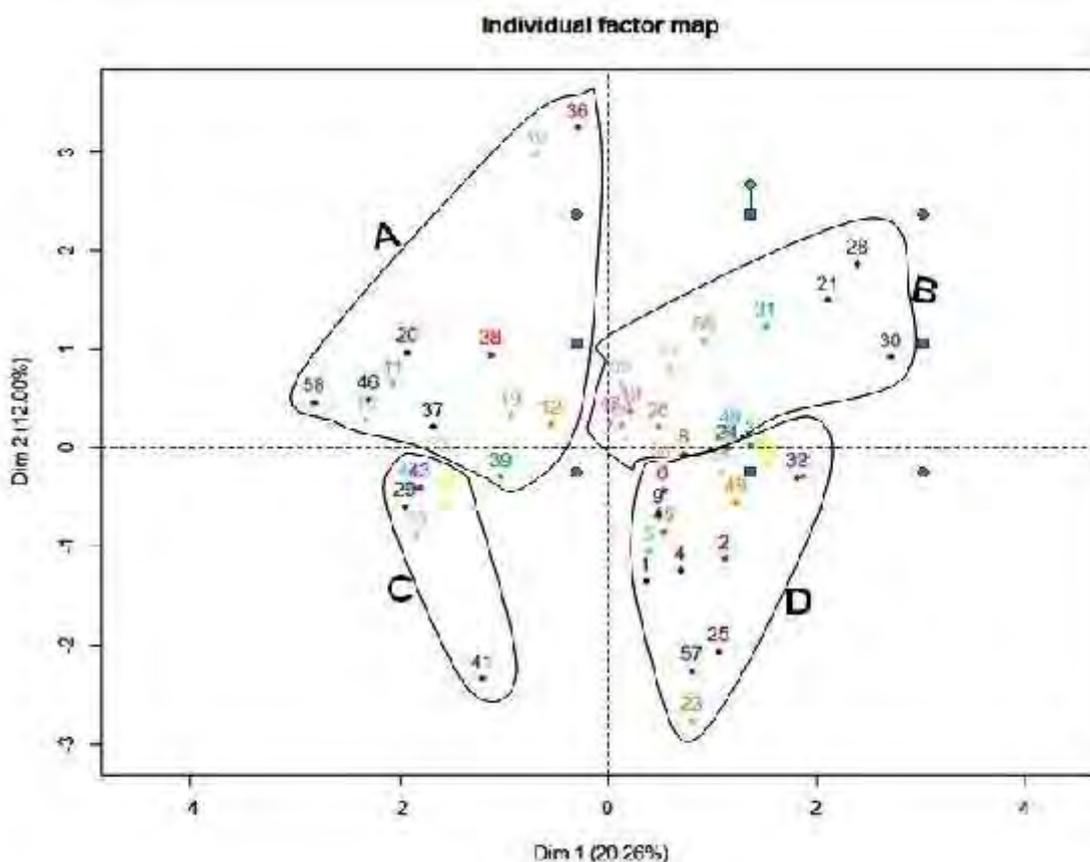


Figure 24 : Projection des individus et des groupes sur les axes factoriels

Quatre types d'exploitations détentrices de biodigesteurs et leurs impacts économiques, sociaux et environnementaux ont été précisés. Ces quatre types d'exploitations montrent une grande disparité sur la fonctionnalité, la capacité, la quantité de compost, l'énergie ou l'éclairage de la concession.

Groupe A (16 exploitations soit 27,58%)

Le premier type (A) représente 27,58% des exploitations et est caractérisé par une non utilisation du biodigesteur installé. Ils ont des superficies cultivées de 3,6 ha en moyenne et un nombre de personnes par ménage de 21,1. Les biodigesteurs dans cette catégorie ont une capacité moyenne de 8,3 m³ et une durée d'utilisation de 1,6 an. Les dépenses en combustibles et en engrais sont de 3150 FCFA et 58845 FCFA/ha. Le temps consacré à la recherche du bois pour cette catégorie est de 2,6 heures par jour.

Groupe B (21 exploitations soit 36,20%)

Le deuxième type (B) est caractérisé par un fonctionnement au ralenti du biodigesteur avec une forte utilisation du compost et une non utilisation de l'énergie pour la cuisson et pour l'éclairage. C'est un groupe essentiellement constitué d'agro-pasteurs avec des superficies cultivées de 3,7 ha et une taille moyenne de ménage de 20 personnes. La capacité moyenne des biodigesteurs est de 7,7 m³ avec une production de 2,2 tonnes de compost par ha. Les dépenses en combustibles sont estimés à 3130 FCFA et pour l'engrais il ya une réduction des dépenses estimées à 36105 FCFA par ha. Les ménages consacrent quotidiennement 2,9 heures à la recherche du bois.

Groupe C (6 exploitations soit 10,34%)

Le troisième type d'exploitation est caractérisé par des biodigesteurs d'une capacité moyenne de 9,7 m³, qui fonctionnent normalement avec une forte utilisation du compost et de l'énergie avec des dépenses en combustibles et en engrais de 970 FCFA et 20 000 FCFA par ha. Ces exploitations rassemblent en moyenne 16,5 personnes par ménages avec des surfaces de cultures moyennes de 3,5 ha.

Groupe D (15 exploitations soit 25,86%)

Les exploitations du type D sont caractérisées par des biodigesteurs d'une capacité moyenne de 7,9 m³, qui fonctionnent normalement avec une forte utilisation de l'énergie pour

l'éclairage et la cuisson et le compost destiné à une fertilisation des champs réduisant ainsi l'achat d'engrais.

Les dépenses en combustibles et en engrais sont respectivement de 1735 FCFA et 26 210 FCFA par ha. Ces exploitations rassemblent en moyenne 15,8 personnes par ménages avec des surfaces de cultures moyennes de 2,9 ha.

Les caractéristiques des différents groupes d'utilisateurs de biodigesteur sont synthétisées dans le tableau XIX.

Tableau XIX : Typologie des exploitations

Classes	A_BD utilisé	non B_BD Compost	C_BD_Cuisson _Compost	D_BD_Eclairage_ Cuisson_Compost
Nombre d'exploitations	16	21	6	15
Surface Cultivée (ha)	3,9	3,7	3,5	2,9
Nombre de personnes/ménage	21,1	20,0	16,5	15,8
Capacité du biodigesteur (m³)	8,3	7,7	9,7	7,9
Quantité de Compost/ha (tonne/ha)	0,0	2,2	2,9	2,9
Durée Utilisation BD (an)	1,6	1,8	1,0	1,7
Dépenses en Combustible/Mois (franc CFA par mois)	3150	3130	970	1735
Dépenses en Engrais/ha (Franc CFA par hectare)	58845	36105	20000	26210
Temps de collecte de Bois (heures)	2,6	2,9	0,3	0,3

BD : Biodigesteur ; SfCult : Superficie cultivée ; Nbpers/ménage : Nombre de personnes par ménage ; QtéCompst/ha : Quantité compost par hectare ; Durée Utilisation BD : durée d'utilisation du Biodigesteur ; DépCombustible/Mois : Dépenses en combustible par mois ; DépenseEngrais/ha : dépenses en engrais par ha ; Temps_CollecteBois : temps de collecte du bois.

Le groupe des utilisateurs du biodigesteur bénéficie de tous les avantages par rapport aux groupes qui l'utilisent partiellement ou à ceux qui ne l'utilisent pas.

6.3.2 Impacts de l'utilisation des biodigesteurs

6.3.2.1 Impacts sociaux

Les biodigesteurs installés dans les exploitations de types A et B sont caractérisés par une non utilisation ou une utilisation au ralenti de l'installation et les impacts sociaux sont faiblement ressentis. Les indicateurs que sont l'amélioration du confort de vie à travers la diminution des tâches ménagères liées à l'utilisation du bois pour la cuisson, la réduction des pathologies respiratoires liées à l'utilisation du bois et le gain de temps par rapport à la recherche du bois et la rapidité de la cuisson avec le biogaz sont estimés entre 0 c'est-à-dire qu'il n'est pas constaté de changement pour les tâches de la concession et 1, les tâches de la concession sont réduites de moins de 25% (figure 25).

Pour ce qui concerne les exploitations de type C et D, elles réagissent de la même manière pour la réduction des pathologies et le gain de temps pour lesquels les indicateurs se situent entre 4 c'est-à-dire que la réduction des pathologies et le gain de temps sont estimés à 75% et 5, il y a une réduction des pathologies et un gain de temps de plus de 75%. L'amélioration du confort de vie est à 3 pour le type C puisque les tâches de la concession sont réduites de 50%. Pour le groupe D, cet indicateur est entre 4 et 5 dont les tâches de la concession sont réduites de 75%.

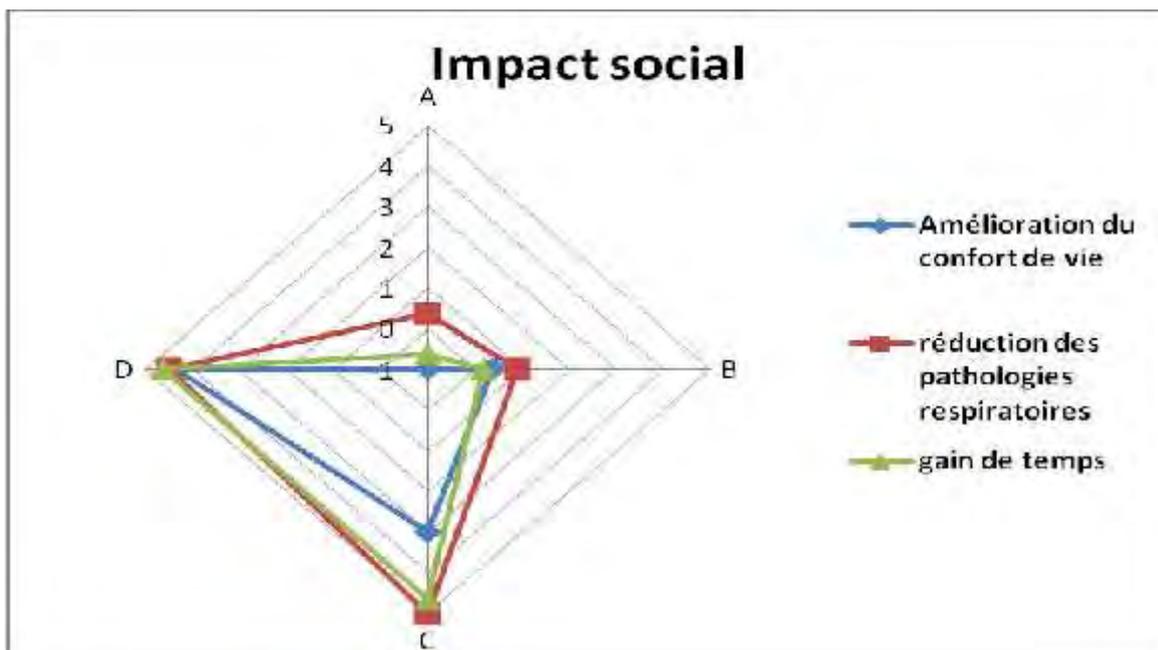


Figure 25 : Evaluation de l'impact social du biodigesteur pour chaque type d'exploitations

6.3.2.2 Impacts économiques

Les impacts économiques du biodigesteur sont très peu ressentis par les groupes A et B. Ils ne bénéficient que de très peu de compost qu'ils utilisent dans leurs champs réduisant ainsi de très peu l'achat d'engrais. Pour le type A, les dépenses en engrais sont réduites de moins de 25% et pour le type B de 25% (figure 26).

Les dépenses liées à l'énergie utilisée pour la cuisson et celles liées à l'achat d'engrais ont connu une baisse de 75% pour les exploitations de type C et D.

Concernant l'éclairage des concessions seuls les biodigesteurs du groupe D en procurent à partir du biogaz produit réduisant ainsi les charges pour l'éclairage de presque plus de 75%.

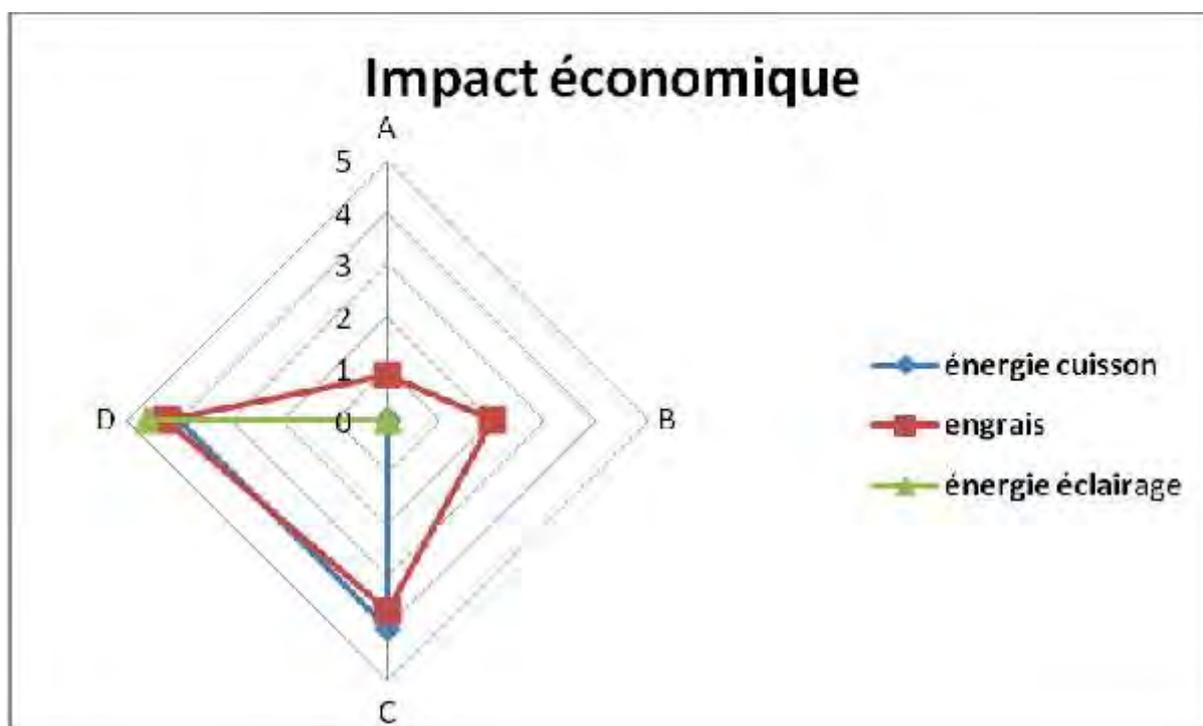


Figure 26 : Evaluation de l'impact économique du biodigesteur pour chaque type d'exploitations

6.3.2.3 Impacts environnementaux

Comme pour les précédents, les impacts environnementaux sont très peu ressentis par les exploitations des groupes A et B. La réduction de la déforestation à travers la collecte du bois ne connaît presque pas d'amélioration (l'indicateur n'atteint pas 1). Pour le type A l'amélioration de la fertilité du sol n'est pas aussi ressentie puisque le digestat n'a permis d'améliorer le rendement des cultures que de moins de 25% et cette amélioration est à plus de 25% pour le type B (figure 27).

Pour le type C, il y a eu une réduction de la collecte du bois de plus de 50% et une amélioration des rendements de culture de presque plus de 75%.

Il en est de même pour le type D qui participe à la réduction de la déforestation avec une diminution de la collecte du bois de presque plus de 75% et une augmentation des rendements de culture de 75%.

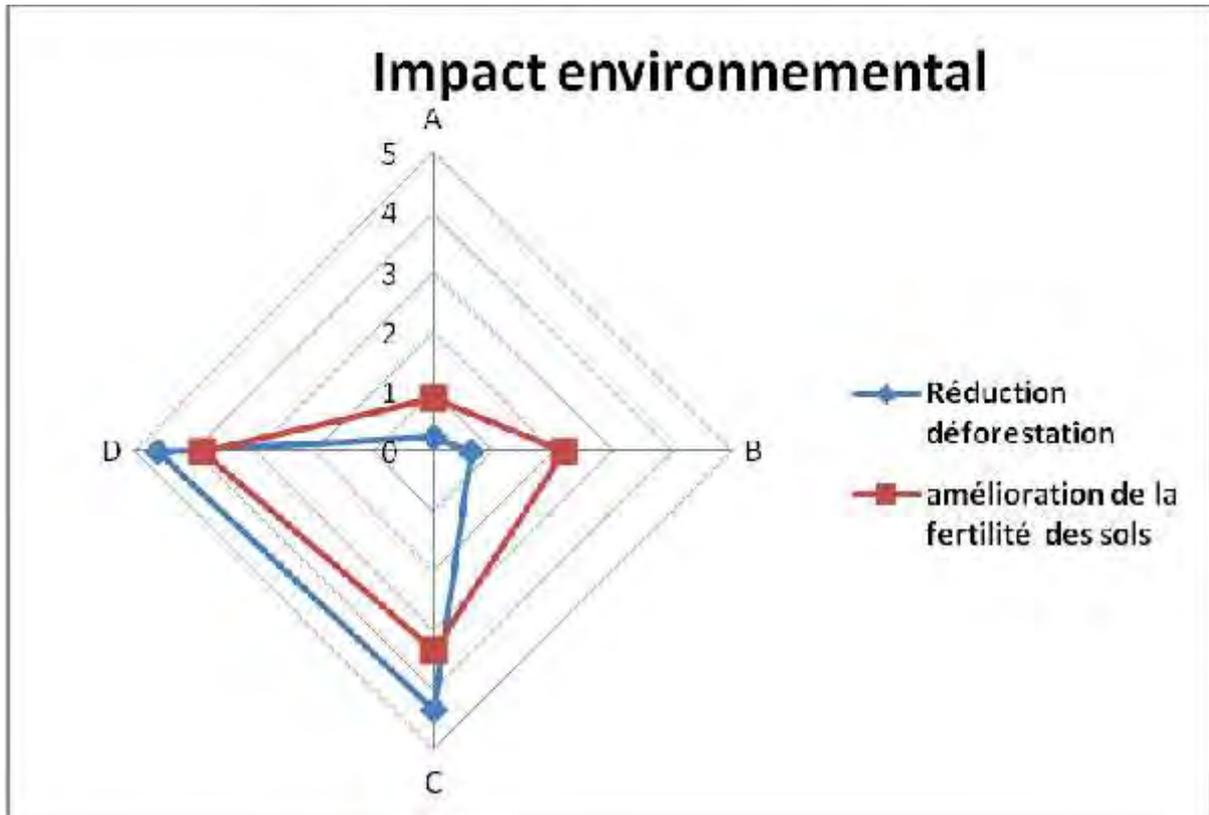


Figure 27 : Evaluation de l'impact environnemental du biodigesteur pour chaque type d'exploitations

6.4 Discussion

6.4.1 Typologie des exploitations utilisatrices de biodigesteurs

Les ménages enquêtés ont une moyenne d'individus par exploitation de 17,59, ce qui est un peu élevé par rapport à la taille moyenne des ménages dans la zone de Niakhar qui est de 11,6 individus (Adjamagbo *et al*, 2006).

Généralement, les questions de genre se fondent sur une forme de discrimination sociale qui se traduit, d'une certaine manière par une marginalisation de la femme qui ne peut jouir des

mêmes opportunités que les hommes (accès à l'éducation, à la formation et à l'emploi hors du foyer) parce que confinée aux tâches domestiques et absente du processus de prise de décision, entre autres. Le manque de moyens et d'accès aux ressources qui naît de cette situation compromet l'épanouissement des femmes en tant qu'agents économiques pouvant se prendre en charge, ce qui les rend plus vulnérables à la pauvreté (Ndoye *et al*, 2009).

Ceci est corroboré par nos résultats avec seulement 20,70% de femmes chefs de ménage pour notre échantillon. Il convient toutefois de noter que certaines de ces femmes à qui on attribue le statut de chefs de ménage assument ce rôle du simple fait de l'absence temporaire de leur époux pour cause de polygamie. En réalité, elles ne jouissent nullement de ce droit et cette situation de fait tend à altérer le statut et l'autorité de la femme chef de ménage, tant dans sa position de pourvoyeuse de ressource que celle de preneuse de décision (Ndoye *et al*, 2009).

C'est aussi le cas dans une étude des profils des utilisateurs de biogaz au Bangladesh où sur 300 installations de biodigesteurs, 290 sont dirigées par des hommes et seulement 10 autres par des femmes (Rofiqul Islam *et al*, 2008).

L'analyse des pratiques débute classiquement par une étude de la diversité des situations, débouchant sur des typologies élaborées sur la base d'entités définies par les experts. Les types sont ensuite caractérisés par un jeu de variables définies elles aussi a priori, pour aboutir à l'élaboration des références sur les pratiques (Vall et Diallo, 2009).

Les typologies d'exploitations agricoles représentent, un outil mis à disposition des organismes de développement agricole dans un objectif commun : ordonner l'univers des exploitations agricoles en vue de structurer leurs analyses et d'adapter leurs interventions (Landais, 1996).

L'AFM et la CAH ont permis de mettre en évidence le lien entre le biodigesteur, la structure du ménage, l'usage du biodigesteur, ses contraintes et la perception des utilisateurs par rapport aux différents produits qui en ressortent.

Une grande disparité a été notée sur la fonctionnalité, la capacité du biodigesteur, la quantité de compost, l'énergie ou l'éclairage de la concession.

6.4.2 Impacts de l'utilisation des biodigesteurs

Les impacts sont la conséquence des résultats de recherche en interaction avec de nombreuses variables qui influent sur l'adoption (par exemple les caractéristiques intrinsèques de la technologie, les caractéristiques des adoptants, l'efficacité des services de vulgarisation, les marchés, les politiques, les règlements et la mondialisation) dans un système caractérisé par de multiples interactions entre plusieurs agents et des institutions ; en d'autres termes, les impacts peuvent résulter d'un certain nombre de causes totalement sans rapport avec la qualité de la recherche en cours d'évaluation (Ekboir, 2003).

Dans la plupart des cas, d'autres facteurs, tels que les politiques et les marchés, influencent l'adoption et, par conséquent, l'impact.

Le problème est aggravé parce que les impacts apparaissent souvent après de nombreuses années et ne peuvent généralement pas être mesurés.

La quantification des avantages du biodigesteur est une étape cruciale dans l'évaluation de la viabilité économique de la production de biogaz. Les impacts résultant de la mise en place et l'utilisation d'un biodigesteur peuvent se distinguer en trois catégories : social, économique et environnemental. Les avantages économiques sont notés sur les coûts des énergies substituées par le biogaz, et sur les coûts d'engrais substitués par le digestat issu de l'installation (Kabir, 2012).

Le biodigesteur est particulièrement apprécié dans les ménages fortement peuplés où le bois de chauffe constitue un problème majeur. Il permet d'économiser le bois de chauffage et l'argent dépensé pour l'énergie. Les agropasteurs qui constituent la majorité de l'échantillon et qui ont adopté une approche intégrée de cultures et d'animaux dans leurs fermes connaissent plus de succès parce qu'ils utilisent le compost pour fertiliser leurs champs.

Les exploitations de types C et D ressentent plus les impacts sociaux, économiques et environnementaux puisqu'elles utilisent les extrants du biodigesteur comme éléments de substitution aux combustibles domestiques traditionnels (bois et charbon de bois). Ainsi, les effets de pollution notés avec ceux-ci et qui affectent l'air et la santé des populations disparaissent car le biodigesteur n'émet pas de fumée.

Les avantages environnementaux incluent plusieurs autres avantages indirects comme moins d'émissions de CO₂. Un autre avantage réside dans le fait même de récupérer la bouse de vache qui, lorsqu'elle ne l'est pas, se concentre à certains endroits et pose un problème

sanitaire pour les animaux ou les personnes en contact avec les lieux. Cette concentration favorise aussi le dégagement du méthane. Par contre, lorsque la bouse est utilisée dans un biodigesteur, le méthane est rendu utile pour la cuisson et l'éclairage et donc, n'est pas relâché dans l'air (Bansal *et al*, 2013).

Par ailleurs, le biodigesteur permet aux populations, particulièrement les femmes de se libérer de la corvée relative à la recherche, de plus en plus difficile, de bois. En outre, il permet aux utilisateurs d'économiser plus d'argent, car n'ayant plus besoin de dépenser pour s'approvisionner en combustibles domestiques et en engrais chimique (Gokcol *et al*, 2009).

6.5 Conclusion partielle

Cette étude a fait ressortir les diversités qui existent dans les exploitations utilisatrices du biodigesteur dans la région de Kaolack. Les groupes visualisés à travers la typologie ressentent différemment les effets des extrants de l'utilisation du biodigesteur.

L'enseignement majeur de ce travail est que l'intégration du biodigesteur dans le système de production permet de mieux valoriser les effluents d'élevage et que l'innovation n'est pas neutre et peut conduire à des changements de pratiques et d'activités.

En raison de l'importance croissante accordée à l'utilisation durable des ressources naturelles, les biodigesteurs devraient être considérés sous un angle beaucoup plus large, particulièrement le rôle potentiel qu'ils jouent dans le recyclage des éléments fertilisants et qui réduit la dépendance des engrais minéraux et facilite donc la pratique de l'agriculture biologique.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'Afrique est confrontée à une grave crise énergétique qui n'est pas due à un manque de ressources énergétiques, mais plutôt à un mauvais état des infrastructures et une absence de technologies appropriées pour exploiter ces ressources qui sont essentiellement renouvelables. Il y a un grand potentiel pour l'adoption de la technologie du biogaz dans les pays africains en raison de ses principaux avantages et de son approche fédératrice des secteurs de l'environnement, de l'élevage, de l'agriculture et de l'énergie.

Cette étude avait pour objectif d'analyser les modes d'utilisations des biodigesteurs dans les exploitations laitières de la région de kaolack et d'en ressortir les impacts socioéconomiques et environnementaux.

Le rôle ou l'importance de la bouse de vache, aussi bien d'un point de vue historique dans le quotidien de nos ancêtres que d'un point de vue écologique, dans sa participation à l'écosystème, est peu connu.

L'approche méthodologique a permis de ressortir l'importance du biodigesteur dans nos exploitations mais aussi des preuves d'améliorations vers moins de dépendance vis-à-vis du bois comme combustible. Le biodigesteur a permis une amélioration des conditions de vie en milieu rural plus particulièrement pour les femmes qui se chargent de la recherche du bois et des tâches de cuisson. Il a été également constaté des améliorations dans la production agricole grâce à l'utilisation d'engrais et la réduction de la quantité de fumée de bois à laquelle elles sont exposées.

En effet, 116 ménages ont été enquêtés dont 58 détenteurs de biodigesteurs. Les résultats montrent que les ménages possédant un biodigesteur avaient plus de temps pour se consacrer à des activités rémunératrices ou pour le bien être de la famille avec un tiers (32,75%) qui mettent moins de 2h par jour pour la recherche du bois et 2h pour la cuisson d'un repas contre 67,25% de ménages sans biodigesteurs qui y consacraient 2 à 6h par jour et plus de 3h pour la cuisson d'un repas. Plus du quart (25,86%) des ménages avec biodigesteurs utilisaient le biogaz comme source d'éclairage. De même, 36,20% préparent les repas et pasteurisent le lait avec le biogaz. Il est également constaté une réduction de la fréquence des pathologies respiratoires et oculaires mais aussi des dépenses pour l'achat de combustible et de compost.

Une régression logistique a permis d'analyser les facteurs qui expliquent l'adoption de cette innovation par les exploitants. Cette méthode a fait ressortir des facteurs économiques plutôt que des facteurs institutionnels, structurels ou sociotechniques. Le prix du combustible, le prix

de l'engrais et le temps de collecte ont surtout guidé le choix des exploitants qui ont choisi d'installer un biodigester. Il est ressorti que le choix de l'installation du biodigester ne dépendait pas du nombre de bovins, ni de la superficie cultivée encore moins de la taille du ménage.

Les diversités qui existent dans les exploitations utilisatrices du biodigester dans la région de Kaolack ont été aussi ressorties dans cette étude. Les groupes visualisés à travers la typologie ressentent différemment les effets des extrants de l'utilisation du biodigester. Ainsi, les exploitations du premier groupe (Groupe A), caractérisées par une non utilisation du biodigester, consacrent beaucoup de temps pour la recherche du bois. Celles du groupe B sont marquées par un fonctionnement au ralenti du biodigester avec une utilisation surtout marquée du compost. Comparées aux groupes C et D où le biodigester est bien fonctionnel procurant ainsi tous les avantages.

Les impacts sociaux, économiques et environnementaux sont aussi différemment ressentis dans les différents groupes d'exploitations ressorties par la typologie mais beaucoup plus dans les exploitations des groupes C et D.

Néanmoins, 63% des biodigesteurs visités lors de cette étude, ne fonctionnent plus ou fonctionnent au ralenti. Les causes les plus fréquentes de ces arrêts de fonctionnement sont les difficultés d'alimentation du biodigester par manque de bouse de vache, les défauts de construction. Des difficultés liées à l'entretien et à la maintenance des biodigesteurs font qu'il y'a souvent des pannes qui sont notées et les utilisateurs ne disposent pas de technologie pour la réparation. Le Programme National Biogaz n'est pas toujours disponible pour aider les bénéficiaires dans l'entretien et la réparation.

Nos résultats mettent en évidence la diversité des avantages créés par cette technologie et fournissent une justification pour que cet outil soit considéré comme faisant partie d'une stratégie nationale du secteur de l'énergie et d'une valeur particulière pour la création de nouveaux emplois dans les zones rurales. Le développement et la gestion de la technologie de biogaz réussis exigent non seulement l'expertise technique, mais une attention sérieuse aux questions économiques, politiques et sociales, ainsi que les comportements humains.

Le Programme National du Biogaz domestique est un immense intérêt pour l'économie nationale, cependant, des contraintes économiques, techniques et socioculturelles sont quelques-unes des barrières qui entravent la pénétration de cette technologie.

Cette étude a aussi permis d'identifier un certain nombre de contraintes qu'il convient de lever pour un meilleur avenir du biodigester au Sénégal, il s'agit entre autres :

- de la formation technique et de l'organisation des éleveurs ;
- du manque d'espace nécessaire à la stabulation des animaux et à la construction du biodigester dans l'exploitation ;
- du manque d'aliments pour stabuler les bovins ;
- du coût élevé du biodigester pour les éleveurs moyens ;
- du manque d'institutions de microfinance qui aident les exploitants à financer le biodigester et d'autres activités génératrices de revenus ;
- de l'absence de suivi des biodigesteurs installés ;
- du manque d'équipes qualifiées sur place pour assurer les réparations.

Recommandations

Au terme de cette étude, des recommandations sont formulées:

Aux pouvoirs publics :

- Former les éleveurs sur la stabulation et la gestion du fumier ;
- Vulgariser les cultures fourragères et la constitution de réserves fourragères au moment le plus opportun pour faciliter la stabulation ;
- Revoir à la hausse le montant de la subvention accordée par l'Etat (160000 FCFA) pour l'installation de biodigesteurs dans le cadre du PNB (Programme National du Biogaz) ;
- Généraliser l'installation de biodigester dans les zones de production laitière pour faciliter la transformation et la conservation du lait mais aussi améliorer la qualité du lait ;

Au PNB :

- Nouer des partenariats entre le PNB et les institutions de microfinance pour faciliter aux producteurs le financement du biodigester et d'autres activités génératrices de revenus ;
- Organiser des tournées régulières par les équipes techniques du PNB pour assurer les réparations des biodigesteurs qui tombent en panne ;
- Former suffisamment les maçons qui doivent assurer des constructions de qualité mais aussi réparer les biodigesteurs en panne.

Au projet AMPROLAIT :

- Vulgariser le biodigesteur dans les différentes plateformes mises en place dans le cadre du projet en vue d'une meilleure gestion de l'environnement.

En résumé, l'utilisation de technologies alternatives telles que le biogaz se déroule dans un environnement complexe dans lequel une combinaison de facteurs tels que la technologie, la volonté politique, l'économie, et la motivation personnelle sont tous essentiels pour son adoption et sa vulgarisation (Akinbami *et al*, 2001a).

Le développement du biodigesteur doit être considéré comme faisant partie d'une stratégie nationale du secteur de l'énergie et d'une valeur particulière pour la création de nouveaux emplois dans les zones rurales mais aussi un moyen de booster la production laitière et une meilleure conservation du lait produit.

Cette étude menée dans le cadre du projet AMPROLAIT a permis d'évaluer les impacts du biodigesteur dans la région de Kaolack et les résultats de cette étude permettront sûrement d'orienter ou de réajuster les actions en faveur d'une utilisation optimale de cet outil et d'une meilleure préservation de l'environnement.

Toutefois, beaucoup d'études seront encore nécessaires pour mieux comprendre les effets de la pasteurisation au biogaz sur la qualité physico-chimique et microbiologique du lait mais aussi l'effet sur la croissance des animaux de la fabrication d'aliments à partir du digestat.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Acharya, J., Bajgain, M.S., et Subedi, M.P.S.** (2005). Scaling up biogas in Nepal: what else is needed? *Boil. Point* 50, 1-4.
2. **ADEME** (2012). Fumier de bovins et compost.
3. **Adesina, A.A., et Baidu-Forson, J.** (1995). Farmers' perceptions and adoption of new agricultural technology: evidence from analysis in Burkina Faso and Guinea, West Africa. *Agric. Econ.* 13, 1–9.
4. **Adjamagbo, A., Delaunay, V., Lévi, P., et Ndiaye, O.** (2006). Comment les ménages d'une zone rurale du Sénégal gèrent-ils leurs ressources? *Etudes Rural.* 177, 69–90.
5. **Ak, N.** (2013). Organic Waste Feedstocks to Energy. *Life Sci. J.* 10, 9p.
6. **Akinbami, J.-F., Ilori, M.O., Oyebisi, T.O., Akinwumi, I.O., et Adeoti, O.** (2001). Biogas energy use in Nigeria: current status, future prospects and policy implications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 5, 97–112.
7. **Alary, V.** (2006). L'adoption de l'innovation dans les zones agro-pastorales vulnérables du Maghreb. *Afr. Contemp.* 219, 81–101.
8. **Almansour, E.** (2011). Bilan énergétiques et environnementaux de filières biogaz: Approche par filière-type. Thèse de doctorat. Université Bordeaux 1. 146 p.
9. **Amigun, B., et Blottnitz, H. V.,** (2007). « Investigation of scale economies for African biogas installations ». *Energy Conversion and Management* 48 (12): 3090-94. doi:10.1016/j.enconman.2007.05.009.
10. **Anonyme** (2011). Etude de base socio-économique, de genre et d'impact environnemental pour le programme national de biogaz domestique du Sénégal.
11. **ANSD** (2011). Situation économique et sociale du Sénégal 2010 (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie).
12. **ANSD** (2014). Recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage.
13. **ANSD** (2015a). Note d'analyse des comptes nationaux provisoires 2013, semi définitifs 2012 et définitifs 2011.

14. **ANSD** (2015b). Situation économique et sociale régionale 2013 (ANSD).
15. **APESA** (2007). Méthanisation et production de biogaz-Etat de l'art.
16. **Appels, L., Lauwers, J., Degrève, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Van Impe, J., et Dewil, R.** (2011). Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 4295–4301.
17. **Baco, M.N., Abdoulaye, T., Sanogo, D., et Langyintuo, A.** (2010). Caractérisation des ménages producteurs de maïs en zone de savane sèche au Bénin (CIMMYT).
18. **Ba Diao, M.** (2004). Situation et contraintes des systèmes urbains et périurbains de production horticole et animale dans la région de Dakar. *Cah Agric* 13, 39–49.
19. **Bansal, M., Saini, R.P., et Khatod, D.K.** (2013). Optimal sizing of a solar–biogas-based cooking system for a cluster of villages. *Int. J. Sustain. Energy* 1–16.
20. **Baratakanwa, V.** (1988). Le role des autorités publiques dans la réalisation de projets de biométhanisation: l'exemple du Ministère de l'Energie du Burundi et sa coopération avec la Belgique, la Chine et la RFA. *MIRCEN J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 4, 81–84.
21. **Barrington, S., Massé, D., Laguë, C., Fortier, M., et Côté, D.** (1997). Les fumiers de bovins laitiers: une ressource qui se gère. In *Proceedings of the Conferences Presented at the 21^{ème} Symposium Sur Les Bovins Laitiers*, pp. 93–128.
22. **Barrington, S., Choinière, D., Trigui, M., et Knight, W.** (2002). Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresour. Technol.* 83, 189–194.
23. **Béline, F., Peu, P., Dabert, P., Trémier, A., Le Guen, G., et Damiano, A.** (2013). La méthanisation en milieu rural et ses perspectives de développement en France. *Sci. Eaux Territ.* 6–13.
24. **Bellache, Y.** (2010). « L'économie informelle en Algérie, une approche par enquête auprès des ménages: le cas de Bejaia ». Université Paris-Est. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00593812/>.

- 25. Biatour, B., et Kegels, C.** (2008). « Les déterminants de l'innovation dans une petite économie ouverte: le cas de la Belgique ». Bureau fédéral du Plan (Belgian Federal Planning Bureau), Working Paper, 11-08.
- 26. Blein, R., Soulé, B.G., Faivre-Dupaigre, B., et Yérima, B.** (2008). Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest. CEDEAO Farm. http://www.fondation-farm.org/zoe/doc/potentialites_etude_mp.pdf.
- 27. Blin, J., Mouras, S., Wadre, A., Voron, A., Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, CIRAD (Organization), Burkina Faso, et Ministère des mines et de l'énergie** (2013). 4ème Conférence Biocarburants et bioénergies du 21 au 23 novembre 2013 à Ouagadougou: quel bilan et quelles voies d'avenir pour les biocarburants et les bioénergies en Afrique?
- 28. Bolzonella, D., Fatone, F., et Cecchi, F.** (2013). Aperçu de la méthanisation agricole en Italie. *Sci. Eaux Territ.* 24–27.
- 29. Bonnier, S.** (2008). Etat de la valorisation du biogaz sur site de station d'épuration en France et en Europe.
- 30. Boutonnet, J.-P., Griffon, M., et Viallet, D.** (2000). Compétitivité des productions animales en Afrique subsaharienne et à Madagascar. Phase II-Synthèse Générale CIRAD-EMVT Montp. Fr.
- 31. Bouyer, F., Belem, A., Seyni, H., Adakal, H., Lancelot, R., Stachurski, F., et Bouyer, J.** (2011). « Adoption d'une nouvelle méthode de lutte sanitaire en milieu paysan: le pédiluve acaricide/insecticide au Burkina Faso ». Recherche et innovations dans les exploitations de polyculture-élevage d'Afrique de l'Ouest. Quelles méthodes pour évaluer les produits de la recherche? 64: 21-32.
- 32. Bouyer, J., Stachurski, F., Gouro, A., et Lancelot, R.** (2008). « Traitement insecticide des bovins contre les glossines par pédiluve en conditions expérimentales ». *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 61 (3-4): 161-67.
- 33. Bruce, N., Perez-Padilla, R., et Albalak, R.** (2002). The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries. Geneva World Health Organ. 11, 41.
- 34. Burnod, P., Gautier, D., et Gazull, L.** (2010). « Les agro carburants au mali: nouveau produit, vieilles recettes? Une analyse de l'émergence et des enjeux du

système d'innovation «AGROCARBURANT» ». In *ISDA 2010*, 20 - p. Cirad-Inra-SupAgro. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00533380/>.

- 35. CEDEAO-CSAO/OCDE** (2008). Élevage et marché régional au Sahel et en Afrique de l'Ouest Potentialités et défis.
- 36. CEP, MEPA** (2015). Recueil de statistiques d'élevage.
- 37. Cesaro, J., MAGRIN, G., et NINOT, O.** (2010). Petit atlas de l'élevage au Sénégal– Commerce et territoires. Publ. Proj. Rech. ATP ICARE Dakar CIRAD.
- 38. Chaibou, M.** (2005). « Productivité zootechnique du désert : Le cas du bassin laitier d'Agadez au Niger ». Thèse de doctorat. Université Montpellier II. 379 p. <http://www.theses.fr/2005MON20017>.
- 39. Chang, J., Leung, D.Y.C., Wu, C.Z., et Yuan, Z.H.** (2003). A review on the energy production, consumption, and prospect of renewable energy in China. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 7, 453–468.
- 40. Chen, Y., Yang, G., Sweeney, S., et Feng, Y.** (2010). Household biogas use in rural China: A study of opportunities and constraints. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 545–549.
- 41. Chia, E.** (2004). « Principes, méthodes de la recherche en partenariat: proposal for draft animal power ». *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 57 (3-4).
- 42. Corniaux, C.** (2003). La filière lait et produits laitiers dans la région de Saint-Louis. *Rapp. Rech. CIRADPSI St. Louis CIRADPSI*.
- 43. DEMEOCQ, N.** (2011). Le biogaz de la production à la valorisation. <http://grainedavocat.hautetfort.com/media/02/00/105809559.pdf>.
- 44. Dia, D.** (2009). Les territoires d'élevage laitier à l'épreuve des dynamiques politiques et économiques: éléments pour une géographie du lait au Sénégal. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta DIOP. 336p.
- 45. Dia, D.** (2013). Etude relative à la formulation du programme d'actions détaillé de développement de la filière lait en zone UEMOA-Annexe 7 Rapport Sénégal.

- 46. Diao, M.B.** (1991). Les systèmes d'élevage dans la zone des Niayes au Sénégal (Institut sénégalais de recherches agricoles).
- 47.** <http://www.sist.sn/gsd/collect/publi/index/assoc/HASH0f2b/551b4a0b.dir/doc.pdf>.
- 48. Diarra, A.** (2009). Echanges internationaux et developpement de l'elevage laitier senegalais. Thèse de doctorat. Université Paris-Sud. 306 p.
- 49. Dieye, P.N.** (2003). Comportements des acteurs et performances de la filière lait périurbain de Kolda, Sénégal (Institut agronomique méditerranéen).
- 50.** http://www.hubrural.org/IMG/pdf/senegal_lait_periurbain_kolda.pdf.
- 51. Dincer, I.** (1999). Environmental impacts of energy. *Energy Policy* 27, 845–854.
- 52. Dione, M., Diop, O., Dièye, P.N., Ba, D.N., et Ndao, B.** (2008). Caractérisation et typologie des exploitations agricoles familiales du Sénégal- Bassin arachidier.
- 53. Dohoo, C., VanLeeuwen, J., Read Guernsey, J., Critchley, K., et Gibson, M.** (2013). Impact of biogas digesters on wood utilisation and self-reported back pain for women living on rural Kenyan smallholder dairy farms. *Glob. Public Health* 8, 221–235.
- 54. DPEE** (2014). Situation économique et financière en 2014 et perspectives 2015.
- 55. Dupont, N.** (2010). Valorisation du biogaz de fermentation: combustion catalytique. Lyon 1.
- 56. Duteurtre, G., Corniaux, C., et Boutonnet, J.P.** (2003). Baisse de la consommation des produits laitiers en Afrique subsaharienne: mythe ou réalité. *Rencontres Rech. Rumin.* 10, 323–326.
- 57. Ehemba, M.A.** (2006). Energie et femmes au sahel: cas du Sénégal.
- 58. Ekboir, J.** (2003). Why impact analysis should not be used for research evaluation and what the alternatives are. *Agric. Syst.* 78, 166–184.
- 59. FAO** (2011). World Livestock 2011 Livestock in food security.
- 60. Farinet, J.L., et Fancis, F.** (1989). Pour le recyclage des résidus en pays tropicaux.

- 61. Farouqe, N., et Hameed, S.** (2012). Effective Use of Technology to Convert Waste into Renewable Energy Source. *Life Sci. J.* 9 (1).
- 62. Faye, B.** (2001). Le rôle de l'élevage dans la lutte contre la pauvreté. *Rev. D'élevage Médecine Vét. Pays Trop.* 54 (3-4).
- 63. Faye, B., et Alary, V.** (2001). Les enjeux des productions animales dans les pays du Sud. *Prod. Anim.-PARIS-Inst. Natl. Rech. Agron.-* 14 (1), 3–14.
- 64. Fokou, G., Koné, B.V., et Bonfoh, B.** (2011). Innovations technico-organisationnelles et relations de pouvoir dans les systèmes de production pastorale au Mali: dynamique des acteurs de la filière laitière périurbaine de Bamako. *Rev. D'élevage Médecine Vét. Pays Trop.* 64 (1-4).
- 65. Fonds africain de développement** (2010). Document de stratégie par pays 2010-2015.
- 66. Geels, F. W.** (2002). « Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study ». *Research policy* 31 (8): 1257-74.
- 67. Geels, F. W.** (2004). « From Sectoral Systems of Innovation to Socio-Technical Systems ». *Research Policy* 33 (6-7): 897-920. doi:10.1016/j.respol.2004.01.015.
- 68. Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Faluccia, A., et Tempio, G.** (2014). Lutter contre le changement climatique grâce à l'élevage—Une évaluation des émissions et des opportunités d'atténuation au niveau mondial (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Rome). <http://www.fao.org/3/a178d78a-c599-4518-b6f5-778051e422e1/i3437f.pdf>.
- 69. Gokcol, C., Dursun, B., Alboyaci, B., et Sunan, E.** (2009). Importance of biomass energy as alternative to other sources in Turkey. *Energy Policy* 37(2), 424–431.
- 70. Gomgnimbou A.P.K., Nacro H.B., Sanon O.H., Sieza I., Kiendrebeogo T., Sedogo M.P., et Martinez J.** (2014). La gestion des déjections animales dans la zone périurbaine de Bobo- Dioulasso (Burkina Faso) : structure des élevages, perception de leur impact environnemental et sanitaire, perspectives. *Cah Agric* 23(6), 393–402.

- 71. Green et Vert (2012).** La microfinance soutient le biogaz au Cambodge. *Bioénergie Int.* 2.
- 72. Guerrin, F., Courdier, R., Calderoni, S., Paillat, J.M., Soulié, J.C., et Vally, J.D.** (1998). Conception d'un modèle multi-agents pour la gestion des effluents d'élevage à l'échelle d'une localité rurale. *JFIADSMA* 98, 25–37.
- 73. Guigou, B.** (1992). Les changements du système familial et matrimonial: Les Sérères du Sine (Sénégal).
- 74. Hanson, S., Elola Calderon, M.T., et Michel, Q.** (2007). Les biocarburants en Région wallonne: une analyse comparative avec la France, l'Allemagne, l'Espagne et l'Italie. <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/112557>.
- 75. Hartmann, D., et Andreas P.** (2013). « Innovation, economic diversification and human development ». FZID Discussion Papers. <http://www.econstor.eu/handle/10419/69738>.
- 76. Hassaïnya, J., Tozanli, J.H.M.P.S., Padilla, M., et Tozanli, S.** (2007). Lait et produits laitiers en Méditerranée: des filières en pleine restructuration (Karthala). https://books.google.sn/books?id=VaeR3_W1hq4C.
- 77. Hess, J.** (2007). Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation. Université Nice Sophia Antipolis.
- 78. Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie** (2012). Le biogaz à des fins domestiques.
- 79. JEAN-DAMIEN, C.** (2004). La bouse : historique, importance et écosystème. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. 82p.
- 80. Jlaïdi, M., et Amahrouch, A.** (1995). Maintenance des digesteurs à biogaz. UNESCO et CDER. 86p.
- 81. Kabir, H.** (2012). Growing popularity of small scale biogas plants in Bangladesh. <http://teca.fao.org/>.
- 82. Kaygusuz, K., et Türker, M.F.** (2002). Biomass energy potential in Turkey. *Renew. Energy* 26(4), 661–678.

- 83. Keita, A., Baltissen, G., et Hilhorst, D.H.** (2008). Accroître les ressources financières des communes: pratiques émergentes en Afrique de l'Ouest et du Centre (KIT).
<http://www.snvworld.org/en/countries/burkinafaso/publications?v=all&filter>manual/africa/rwanda&page=3>.
- 84. Kizito N.** (2008). Evaluation des facteurs de variation du taux de réussite de l'insémination artificielle bovine en milieu traditionnel au Sénégal : cas de la région de Thiès. Université Cheikh Anta Diop de dakar.
- 85. Kuepper, G.** (2003). Du fumier pour les cultures biologiques. Natl. Sustain. Agric. Form.Serv.-NCTA.
http://www.oacc.info/docs/attra/attra_manures_organic_crop_production_f.pdf.
- 86. Laichena, J.K.** 1989. « Rural energy in Kenya: is there a future for biogas? A survey ». *Energy exploration & exploitation* 7 (2): 116-27.
- 87. Laichena, J.K., et Wafula, J.C.** (1997). Biogas technology for rural households in Kenya. *OPEC Rev.* 21(3), 223–244.
- 88. Landais, E.** (1996). Typologies d'exploitations agricoles. Nouvelles questions, nouvelles méthodes. *Économie Rurale* 236(1), 3–15.
- 89. Lavoie, S.** (2012). La réalisation de la souveraineté alimentaire au Sénégal dans une perspective de sécurité alimentaire: le cas de l'industrie laitière. Mémoire de master. Université Laval. 193p.
- 90. Lee, C.C., et Chang, C.P.** (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. *Resour. Energy Econ.* 30(1), 50–65.
- 91. Lemoine, F.** (1998). La bouse de vache: folklore et traditions. Thèse vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. 82p.
- 92. Lericollais, A.** (1999). Paysans sereer: dynamiques agraires et mobilités au Sénégal (IRD Editions).

- 93. Levasseur, P., Charpiot, A., et Le Guen, G.** (2013). Les collectivités: une source de déchets organiques et une voie de valorisation de la chaleur pour la méthanisation agricole? *Sci. Eaux Territ.* n°3: 58–65.
- 94. Liébard, A., et Civel, Y.B.** (2010). De l'électricité verte pour 35000 ruraux au Sénégal.
- 95. Ma, H., Oxley, L., Gibson, J., et Li, W.** (2010). A survey of China's renewable energy economy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14(1), 438–445.
- 96. Malcolm, D.J., et Hansen, A.C.** (2002). WindPACT Turbine Rotor Design Study: June 2000–June 2002 (National Renewable Energy Laboratory).
- 97. Mangoyana, R.B.** (2009). Bioenergy for sustainable development: An African context. *Phys. Chem. Earth Parts ABC* 34, 59–64.
- 98. MARACHE, L.E.** (2001). Méthanisation des effluents et déchets organiques : état des connaissances sur le devenir pathogène. thèse vétérinaire. Université Paul-Sabatier de Toulouse. 181p.
- 99. Massé, D.I., Talbot G., et Gilbert Y.** (2011). « On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations ». *Animal Feed Science and Technology* 166-167 (juin): 436-45.
- 100. Maxime, K.K.** (2012). La contribution de l'énergie à la résorption de la pauvreté en milieu rural au Cameroun. 36.
- 101. Mignon, C.** (2009). Biométhanisation: Utilisation du digestat comme fertilisant en agriculture. CRA Valbiom.
- 102.** <http://valbiom.be/files/gallery/utilisationdudigestatcommefertilisantenagriculture1284120093.pdf>.
- 103. Ministère de l'énergie** (2010). Système d'Information énergétique du Sénégal en 2010.
- 104. Moletta, R.** (2002). La digestion anaérobie des déchets municipaux. *Eau Ind. Nuis.* 257, 75–82.

- 105. Mondal, M.A.H., et Denich, M.** (2010). Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in Bangladesh. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 2401–2413.
- 106. Ndoye, D., Adoho, F., Backiny-Yetna, P., Fall, M., Ndaye, P.T., et Wodon, Q.** (2009). Tendances et profil de la pauvreté au Sénégal de 1994 à 2006.
- 107. Ngom, A.** (2006). les professionnels du bois-énergie au Sénégal.
- 108. Ngom, Y.** (2013). Logiques d'action et analyse diachronique des instruments de la politique commerciale du Sénégal: mesures de suspension des importations de viande de volaille et de suppression des droits de douane et de la taxe sur la valeur ajoutée sur le lait en poudre. Thèse de doctorat. Université Gaston Berger. 367p.
- 109. OCDE.** (2008). « Rapport annuel ».
- 110. OCDE** (2012). Coopération Pour le Développement 2012 Comment Intégrer Durabilité et Développement.
- 111. Omer, A.M.** (2007). Organic waste treatment for power production and energy supply. *J. Cell Anim. Biol.* 1(2), 034–047.
- 112. Omer, A.M., et Fadalla, Y.** (2003). Biogas energy technology in Sudan. *Renew. Energy* 28(3), 499–507.
- 113. Paillat, J.M., Aubry, C., et Medoc, J.M.** (2003). Une typologie des systèmes de gestion des effluents d'élevage dans les exploitations de l'île de la Réunion. F Guerr. J-M Paillat Éd. http://pigtrop.cirad.fr/fr/content/download/2447/12741/file/1_2_Typologie_Paillat.pdf
- 114. Parawira, W.** (2009). Biogas technology in sub-Saharan Africa: status, prospects and constraints. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 8(2), 187–200.
- 115. Pédelahore, P., Tchatchoua, R., Tonka, M., Ntsama, M., et Andrieu, N.** (2011). Restituer l'adoption des propositions techniques de la recherche dans les stratégies d'adaptation des exploitants agricoles familiaux. *Rev. D'élevage Médecine Vét. Pays Trop.* 64 (1-4).

- 116. Peidong, Z., Yanli, Y., jin, S., Yonghong, Z., Lisheng, W., et Xinrong, L.** (2009). Opportunities and challenges for renewable energy policy in China. *Renew. Sustain. Energy Rev.* *13*(2), 439–449.
- 117. Pereira, K., Douet, M., et Gavaud, O.** (2014). Quelle place pour le transport fluvial dans le traitement des ordures ménagères?
- 118.** http://www.recherchemaconnaiss.org/tl_files/irvsm/pdf/Communications7eRencontres/AtelierFleuvesettransports/Pereira,%20Douet,%20Gavaud.pdf.
- 119. Perera, K.K.C., Rathnasiri, P.G., et Sugathapala, A.G.** (2003). Sustainable biomass production for energy in Sri Lanka. *Biomass Bioenergy* *25*(5), 541–556.
- 120. Peu, P.** (2011). La gestion des effluents d'élevage et la production d'hydrogène sulfuré, cas particulier de la méthanisation. Thèse de doctorat. Université Rennes 1.
- 121. Peyraud, J., Agabriel, J., Benoit, M., Duhem, K., Lagriffoul, G., Legarto, J., et Morin, E.** (2013). Vers des systèmes d'élevage de ruminants à hautes performances. *Rencontres Autour Rech. Sur Rumin.* 21–30.
- 122. Prasertsan, S., et Sajjakulnukit, B.** (2006). Biomass and biogas energy in Thailand: Potential, opportunity and barriers. *Renew. Energy* *31*(5), 599–610.
- 123. Preston, Reg.** (2005). « les biodigesteurs dans les systèmes de production écologiques- Reg Preston.pdf ».
- 124. Rao, P.V., Baral, S.S., Dey, R., et Mutnuri, S.** (2010). Biogas generation potential by anaerobic digestion for sustainable energy development in India. *Renew. Sustain. Energy Rev.* *14*(7), 2086–2094.
- 125. Rofiqul Islam, M., Rabiul Islam, M., et Rafiqul Alam Beg, M.** (2008). Renewable energy resources and technologies practice in Bangladesh. *Renew. Sustain. Energy Rev.* *12* (2), 299–343.
- 126. Saidi, A., et Abada, B.** (2007). La biométhanisation: une solution pour un développement durable. *Rev. Energ. Renouvelables* 31–35.
- 127. Schattauer, A., Abdoun, E., Weiland, P., Plöchl, M., et Heiermann, M.** (2011). Abundance of trace elements in demonstration biogas plants. *Biosyst. Eng.* *108*(1), 57–65.

- 128. Schumpeter, J.A.** (1934). The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle. Vol. 55. (Transaction publishers).
- 129. Schwartz, A.** (1996). « Pratiques paysannes et gestion de la fertilité des terres sur les exploitations cotonnières dans l'ouest du Burkina Faso ». *Cahiers des Sciences humaines* 32 (1): 153-75.
- 130. Singh, K.J., et Sooch, S.S.** (2004). Comparative study of economics of different models of family size biogas plants for state of Punjab, India. *Energy Convers. Manag.* 45(9-10), 1329–1341.
- 131. Soete L., Verspagen B., et Weel B.** 2009. « Systems of Innovation ». UNU-MERIT.
- 132. Sow, R.S., Diop M., et Mbaye M.** (1997). L'Élevage au Sénégal: Politique de Développement et Gestion des Ressources génétiques des Animaux domestiques. <http://www.sist.sn/gsd/collect/publi/index/assoc/HASHe454/dc29b47d.dir/doc.pdf>.
- 133. Springer-Heinze, A., Hartwich F., Henderson J.S., Horton D., et Minde I.** (2003). « Impact Pathway Analysis: An Approach to Strengthening the Impact Orientation of Agricultural Research ». *Agricultural Systems* 78 (2): 267-85.
- 134. Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosalez Mendes, M., et De hann, C.** (2009). L'ombre portée de l'élevage (FAO, Rome).
- 135. Surendra, K.C., Takara, D., Jasinski, J., et Kumar Khanal, S.** (2013). Household anaerobic digester for bioenergy production in developing countries: opportunities and challenges. *Environ. Technol.* 34(13-14), 1671–1689.
- 136. Tacher, G., et Letenneur, J.** (1999). Le secteur des productions animales en Afrique subsaharienne des Indépendances à 2020. II. Approche des échanges par zones sous-régionales. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.* 52(3-4), 291–304.
- 137. Tacher, G., et Letenneur, A.** (2000). « Le secteur des productions animales en Afrique subsaharienne, des indépendances à 2020. I. Place de l'Afrique subsaharienne dans les échanges mondiaux et évolution du secteur élevage ». *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 53 (1): 27-36.
- 138. Taleghani, G., et Shabani Kia, A.** (2005). Technical–economical analysis of the Saveh biogas power plant. *Renew. Energy* 30 (3), 441–446.

- 139. Tissandier, C.** (1999). La symbolique de la vache a travers l'art et la mythologie dans les temps prehistoriques et les civilisations antiques de méditerranée, d'Egypte et d'inde (Doctoral dissertation).
- 140. Union européenne** (2012). Comprendre les politiques de l'union européenne-Energie.
- 141. Vall, É., et Diallo, M.A.** (2009). Savoirs techniques locaux et pratiques : la conduite des troupeaux aux pâturages (Ouest du Burkina Faso). *Nat. Sci. Sociétés* 17(2), 122–135.
- 142. Vall, E., Koutou, M., Blanchard, M., Coulibaly, K., Diallo, M.A., et Andrieu, N.** (2012). Intégration agriculture-élevage et intensification écologique dans les systèmes agrosylvopastoraux de l'Ouest du Burkina Faso, province du Tuy. In *Partenariat, Modélisation, Expérimentations: Quelles Leçons Pour La Conception de L'innovation et L'intensification écologique?*, (Cirad), 13p. <http://hal.cirad.fr/hal-00718613/>.
- 143. Wahidul, K.B., et Lucas, N.J.D.** (1997). Energy consumption in the domestic sector in a Bangladesh village. *Energy* 22(8), 771–776.
- 144. Waterhouse, D.** (1974). The biological control of dung. *Sci. Am.* 230, 100–109.
- 145. Wauthelet, M., Rolot, D., Naveau, H.P., Nyns, E.J., Nditabiriye, D., Ndayizeye, A., Ndayishimiye, J., Harimenshi, R., et Mbeshherubusa, D.** (1989). Rapport technique: Etat des techniques de biométhanisation au burundi. Le projet belgo-burundais. *MIRCEN J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 5(3), 283–295.
- 146. Weiland, P.** (2000). Anaerobic waste digestion in Germany—Status and recent developments. *Biodegradation* 11(6), 415–421.
- 147. Wozniak, G.D.** (1984). The adoption of interrelated innovations: A human capital approach. *Rev. Econ. Stat.* 70–79.

ANNEXES

- Publications et Communications de l'auteur
- Répartition des villages enquêtés par communauté rurale et par département
- Questionnaire d'enquête
- Guide d'entretien
- Questionnaire d'enquête impact
- Fiche de notation des impacts
- Photos

Annexe 1 : Publication

Avantages des biodigesteurs sur le bois de chauffe dans les élevages laitiers à Kaolack (Sénégal) ; Diop, F. T., Dieng, K., Wane, A., Sow, A., Kalandi, M., & Sawadogo, G. J. (2015). *Agronomie Africaine*, 27(2), 105-113.

Article soumis pour publication

Diop F.T., Mballo A.D., Wane A., Sow A., Sawadogo G.J., Méthanisation en milieu d'élevage extensif – Facteurs d'adoption des biodigesteurs au Sénégal

Article à soumettre pour publication

Diop F.T., Sow A., Wane A., Sawadogo G.J., Typologie et impacts de l'utilisation d'une innovation en milieu d'élevage sahélien

Communication

« Avantages des biodigesteurs sur le bois de chauffe dans les élevages laitiers de Kaolack » présentée à la 4^{ème} édition de la Semaine Scientifique Agricole de l'Afrique de l'Ouest et du Centre (SSA-AOC) les 16 et 17 juin 2014 à Niamey.

Le poster a été assigné au thème « Production et gestion des connaissances pour renforcer la résilience des systèmes agropastoraux » et a reçu la distinction « premier prix du meilleur poster ».

Avantages des biodigesteurs sur le bois de chauffe dans les élevages laitiers à Kaolack (Sénégal)

F. T. DIOP¹, K. DIENG¹, A. WANE², A. SOW¹, M. KALANDI, G. J. SAWADOGO¹

¹Ecole Inter-Etats des sciences et médecine vétérinaires (EISMV) BP 5077 Dakar Sénégal

E-mail : diopthiouba@yahoo.fr

²ICIRAD (basé à ILRI), ILRI Campus, Mara House Building, Old Naivasha Road, PO BOX 30709, Nairobi, Kenya

Soumis le : 06 / 10 / 2014

Accepté le : 17 / 09 / 2015

RESUME

Le déficit énergétique constitue une contrainte à l'épanouissement des ménages ruraux notamment, au niveau de l'énergie de cuisson. Les femmes utilisent le bois de chauffe pour les besoins énergétiques de la cuisson mais aussi pour la pasteurisation du lait. Cette étude met en évidence les avantages de l'utilisation des biodigesteurs sur le bois de chauffe dans les élevages laitiers à Kaolack (Sénégal). Cent seize ménages ont été enquêtés dont 58 détenteurs de biodigesteurs. Les résultats montrent que les ménages possédant un biodigesteur avaient plus de temps pour se consacrer à des activités rémunératrices ou pour le bien être de la famille avec un tiers (32,75 %) qui mettent moins de 2 h par jour pour la recherche du bois et 2 h pour la cuisson d'un repas contre (67,25 %) de ménages sans biodigesteurs qui y consacraient 2 à 6 h par jour et plus de 3 h pour la cuisson d'un repas. Plus du quart (25,86 %) des ménages avec biodigesteurs utilisaient le biogaz comme source d'éclairage. De même, 36,20 % préparent les repas et pasteurisent le lait avec le biogaz. Il est également constaté une réduction de la fréquence des pathologies respiratoires et oculaires mais aussi des dépenses pour l'achat de combustible et de compost.

Mots-clés : Biogaz ; bois ; élevages laitiers ; économie des ménages ; Kaolack ; Sénégal

ABSTRACT

BIODIGESTER BENEFITS ON WOOD HEATING IN DAIRY FARMING OF KAOLACK (SENEGAL)

The energy deficit is a major constraint to the development of rural households including at cooking energy. Women use firewood for cooking energy needs but, also for the pasteurization of milk. This study highlights the benefits of using biogas digesters on firewood in dairy farms in Kaolack (Senegal). One Hundred sixteen households were surveyed of which 58 possessed biodigester. The results show that households with a biodigester had much more time devoted to income-generating activities or for the welfare of the family. One third (32.75 %) of biodigester owners take less than 2 hours per day for wood search and 2 hours for cooking a meal against (67.25 %) of households without biodigester who spent 2 to 6 hours per day and put more than 3 hours to cook meal. More than a quarter (25.86 %) of households with biogas digester used biogas as a lighting. Similarly, 36.20 % Cook food and pasteurize milk with biogas. The used of biogas expenses for the purchase of fuel as well as the compost for field fertilization, it seem that biogas utilization reduce the incidence of respiratory and eye diseases.

Keywords : Biogas ; wood ; dairy farms ; household economy ; Kaolack ; Senegal

INTRODUCTION

Plus de la moitié de la population mondiale utilise des combustibles de biomasse solide (bois) pour les besoins énergétiques domestiques, comme la cuisine et l'éclairage. Dans les pays d'Afrique subsaharienne, plus de 70 % de l'ensemble de la population dépendent du bois comme combustible (Dohoo *et al.*, 2013).

Le déficit énergétique en milieu rural, notamment au niveau de l'énergie de cuisson et de l'éclairage domestique, constitue une contrainte à l'épanouissement des ménages. Jusqu'à 90 % des ménages ruraux dans les pays en développement comptent sur les biocombustibles solides pour la production d'énergie domestique (Bruce *et al.*, 2002). Les femmes utilisent le bois de chauffe pour les différents besoins énergétiques. Avec la déforestation, les femmes rurales ont de plus en plus des difficultés pour assurer les besoins journaliers en combustible. La combustion du bois de chauffe peut avoir des effets nocifs sur la santé de la mère et des enfants, le développement économique et l'écologie locale (Dincer, 1999). Ainsi, pour résoudre les difficultés d'accès au bois de chauffe par les ménages ruraux et réduire les effets néfastes sur l'environnement, un programme a été initié depuis 2009 portant sur une source d'énergie innovante : le biogaz. Cette opération a déjà installé 72 biodigesteurs dans la région de Kaolack. Cette région a été choisie car l'élevage y est très présent, comme d'ailleurs dans l'ensemble du pays, car il faut disposer quotidiennement de déjections animales pour faire fonctionner les biodigesteurs. Le secteur de l'élevage constitue la seconde activité agricole après l'agriculture. En 2010, ce sous secteur a représenté 23,0 % du PID du secteur primaire et a contribué pour 4,1 % du PIB du Sénégal (ANSD, 2011). L'élevage constitue la principale source de revenus dans les zones à vocation pastorale. La demande en énergie de cuisson est d'autant plus importante pour les élevages qui produisent du lait et pour les éleveurs qui souhaitent le commercialiser car alors il faut normalement procéder à la pasteurisation.

Le biodigesteur est une innovation technologique qui produit un gaz combustible, appelé biogaz. Cette production de biogaz se fait à partir d'un processus de fermentation anaérobie des déjections animales et plus particulièrement avec les bouses de vaches dans une cuve

souterraine (Amiguin et Biednitz, 2007). Le biogaz est un mélange gazeux, constitué essentiellement par le méthane (CH₄) et le gaz carbonique (CO₂), qui permet aux ménages ruraux d'assurer les tâches de cuisson (Saidi et Abada, 2007). Il contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) dégagés par le fumier des animaux déposés par terre (Massé *et al.*, 2011).

L'objectif général de cette étude est de qualifier les avantages de l'utilisation des biodigesteurs dans les élevages laitiers de Kaolack par rapport à l'utilisation du bois et de manière spécifique :

- Caractériser les ménages enquêtés ;
- Ressortir les avantages de l'utilisation des biodigesteurs.

MATERIEL ET METHODES

ZONE D'ETUDE

L'étude a été réalisée dans la partie centrale du Sénégal (Figure 1), dans la région administrative de Kaolack située entre 14°30' et 16°30' de longitude ouest et 13°30' et 14°30' de latitude nord. Cette région s'étend sur 4 927 km² avec une population de 918 355 habitants (ANSD, 2014). Elle se situe ainsi entre la zone sahélienne sud et la zone soudanaïenne nord.

Le climat de la région se caractérise par des températures moyennes élevées d'avril à juillet (15-18°C à 35-40°C), une saison sèche de novembre à juin/juillet (8 à 9 mois) et une courte saison des pluies (juin/juillet à octobre). Les précipitations se situent en moyenne entre 800 et 900 mm par an. Située au cœur du bassin arachidier, la capitale du Saloum constitue une région carrefour et frontalière avec la Gambie. Elle regorge dans le Sud-Est de la région des terres propices à la production de cultures vivrières et surtout de l'arachide.

L'élevage est pratiqué selon un mode extensif avec des fermes semi-intensives dans la zone périurbaine de Kaolack. Les embouches bovine, ovine et l'aviculture se développent peu à peu autour des centres urbains. L'effectif du cheptel de la région de Kaolack est estimé à 125 280 bovins et 1 532 /14 petits ruminants.

C'est tout de toutes ces potentialités et des fortes ambitions du Programme National du Biogaz domestique (PNB) d'installer 8 000 biodigesteurs que la région de Kaolack a été choisie.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude sur la carte du Sénégal
Localization of the study area on the map of Sénégal

ECHANTILLON

Cinquante-huit ménages détenteurs de biodigesteurs de la région de Kaolack ont été enquêtés pour l'analyse des facteurs d'adoption et de son utilisation. Cet échantillon représentait 80,55 % des ménages détenteurs de biodigesteurs. Autant de ménages ne bénéficiant pas de biodigesteurs ont aussi été enquêtés dans le but d'avoir des éléments de comparaison avec les premiers. La méthode d'appariement a été utilisée pour évaluer les effets de l'utilisation du biodigesteur et du bois dans des exploitations des mêmes zones. Les exploitations sont réparties dans 39 villages appartenant aux 3 départements de la région de Kaolack (21 à Kaolack, 2 à Guinguinéo et 16 à Niakhar). Les enquêtes dans le département de Guinguinéo se sont limitées à 2 villages puisque les biodigesteurs installés n'existent que dans ces zones.

METHODOLOGIE

Des enquêtes ont été réalisées auprès des ménages utilisateurs de biogaz et/ou d'autres sources d'énergie comme le bois, le charbon, le gaz butane, le fumier des bovins pour la cuisson. Une approche par appariement a été utilisée pour mener les enquêtes auprès des ménages ruraux petits producteurs de lait utilisateurs et d'autres non utilisateurs de biodigesteurs. Cette méthode consiste à mener une étude comparative entre les ménages ayant installé un biodigesteur et ceux qui n'en ont pas. Le même nombre de ménages est choisi dans les mêmes villages. Les caractéristiques observables et qui sont censées agir sur l'accès au biodigesteur, telles que l'âge, le sexe, le niveau de scolarisation, la taille des ménages, le nombre de bovins, la superficie des cultures, permettent de faire la comparaison entre les individus. Par la suite, des observations directes

ont été également faites au niveau des exploitations détentrices de biodigesteurs pour observer les modes d'utilisation de cet outil.

Des personnes ressources comme les agents du programme National du Biogaz Domestique, des services techniques de l'élevage, des eaux et forêts ont également été rencontrées en vue de recueillir leurs avis et expériences par rapport aux biodigesteurs.

La collecte des données a été réalisée avec un questionnaire et un guide d'entretien.

Le questionnaire a été conçu pour recueillir des informations sur la structure de l'exploitation, le volet environnemental, les charges de l'exploitation, les produits de l'exploitation.

Quant au guide d'entretien, il a permis de réaliser les interviews et prend en compte l'identification, le type de combustible utilisé, les dépenses énergétiques liées à la cuisson, le temps total nécessaire à la collecte du bois, les types de pathologies rencontrées avec l'utilisation d'un combustible autre que le biogaz.

Les entretiens se sont déroulés aux mois de mai et juillet 2014.

TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Les données récoltées ont été saisies et traitées avec le logiciel Sphinx Plus et le logiciel SPSS 20. Les paramètres de statistiques descriptives ont été calculés afin de caractériser les ménages visités et des tests d'égalité de moyennes réalisés pour comparer les dépenses moyennes en combustibles et en engrais entre les deux catégories de ménages.

RESULTATS

CARACTERISTIQUES DES MENAGES ENQUETES

Plus de la moitié des ménages enquêtés (55,20 %) sont constitués par une population variant de 10 à 20 personnes (Tableau 1). La moyenne des individus par exploitation est de 17,59 avec un écart type de 9,66. Le reste de la population est répartie dans les autres ménages avec 14,70 % contenant moins de 10 personnes, 20,70 % des ménages avec 20 à 30 personnes avec une prédominance d'hommes (79 %) contre 21 % de femmes.

Les populations enquêtées sont pour la plupart (47,1 %) vieillissantes avec un âge de 50 ans et plus. Une bonne partie de la population (45,7 %) a un âge qui varie entre 35 et 50 ans et une infime partie (6,9 %) constitue la population active avec un âge de 20 à 35 ans (Tableau 2). Les populations ont pour la plupart des activités d'élevage combinées à l'agriculture (77 %). Ensuite ces deux activités peuvent être combinées à la maçonnerie, au commerce, à la couture, etc.

CARACTERISTIQUES DES BIODIGESTEURS VISITES

Les biodigesteurs visités étaient de différentes capacités comme notées dans le (Tableau 3). Seuls 19 biodigesteurs fonctionnent normalement à plein temps, 2 de manière saisonnière et 37 ne fonctionnent plus.

Tableau 1 Taille du ménage de l'exploitation
size of the exploitation household

Taille du ménage de l'exploitation	Nombre	Fréquence
Moins de 10	17	14,70 %
10 - 20	64	55,20 %
20 - 30	24	20,70 %
30 - 40	7	6,00 %
40 - 50	1	0,80 %
50 - 60	1	0,80 %
60 et plus	2	1,70 %
TOTAL OBS.	116	100 %

Tableau 2 : Répartition des chefs d'exploitations en fonction de l'âge et du sexe
Distribution of farm managers according to age and sex

Sexe/Âge	16-35	35-50	50 et plus	TOTAL	Freq.
Hommes	4	37	51	92	79,30 %
Femmes	4	16	4	24	20,70 %
TOTAL	8	53	55	116	100 %
Fréquence	6,90 %	45,70 %	47,40 %	100 %	

CAUSES DE NON FONCTIONNALITE DES BIODIGESTEURS

Plusieurs raisons font qu'il y a ce fort taux de biodigesteurs qui ne fonctionnaient pas et les plus fréquentes sont retracées à la (Figure 2).

Le biodigesteur fonctionnel fournissait aux ménages de l'énergie pour la cuisson et pour l'éclairage. Plus du quart (25,86 %) des ménages avec biodigesteurs utilisait le biogaz comme source d'éclairage. De même, (36,20 %) préparent les repas et pasteurisent le lait.

AVANTAGES DE L'UTILISATION DU BIOGAZ

Près d'un tiers des ménages avec biodigesteurs (32,0 %) mettait moins de 2 h par jour pour la recherche du bois et 2 h pour la cuisson d'un repas contre 67,25 % de ménages sans biodigesteurs qui y consacraient 2 à 6 h par jour et mettent plus de 3h pour la cuisson d'un repas (Figures 3 et 4).

La fréquence des pathologies respiratoires et oculaires était beaucoup plus basse au niveau

des exploitations utilisatrices de biodigesteurs respectivement 34 cas et 31 cas contre 57 et 54 au niveau des exploitations sans biodigesteurs (Figure 5).

Les ménages sans biodigesteurs dépensaient mensuellement en moyenne 3150 FCFA pour l'achat de bois et de charbon contre 1350 FCFA pour les ménages utilisateurs du biodigesteur. Ce résultat est confirmé par le test d'égalité des moyennes (avec l'0) : La différence entre les deux moyennes est nulle et l'11 : la différence est différente de 0) avec un bon seuil de significativité ($p = 0,008$).

L'utilisation du compost issu des biodigesteurs permettait de réduire l'utilisation de l'engrais chimique, 23105 F CFA contre 58845 F CFA par hectare pour les détenteurs et non détenteurs de biodigesteurs respectivement. Les tests statistiques montrent qu'il n'y a pas de différence significative sur l'achat d'engrais chimique entre les utilisateurs du compost issu du biodigesteur et les non utilisateurs de ce compost ($p = 0,47$).

Tableau 3 : Répartition des biodigesteurs en fonction de la capacité
Distribution of biodigestors according to the capacity

Capacité (m ³)	4	6	8	10	12	14	Total
Nombre de biodigesteurs	2	15	20	18	1	1	58
fréquence (%)	3,45	27,59	34,49	31,03	1,72	1,72	100

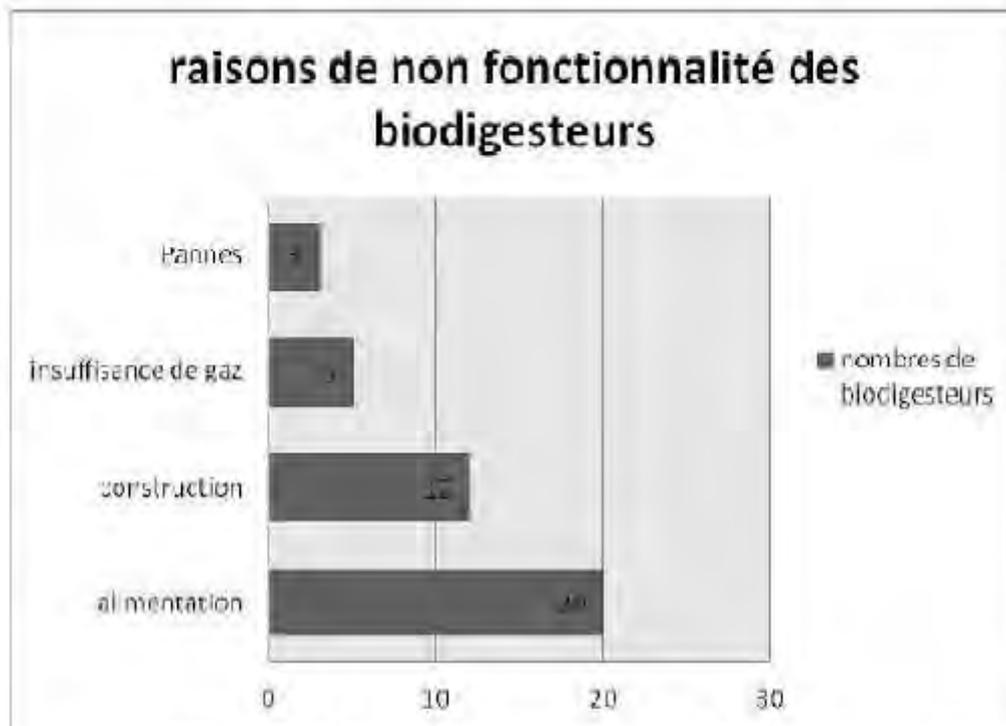


Figure 2 : Causes de non fonctionnalité des biodigesteurs dans la région de Kaolack.
Causes of non functionality of biogasifiers in Kaolack region

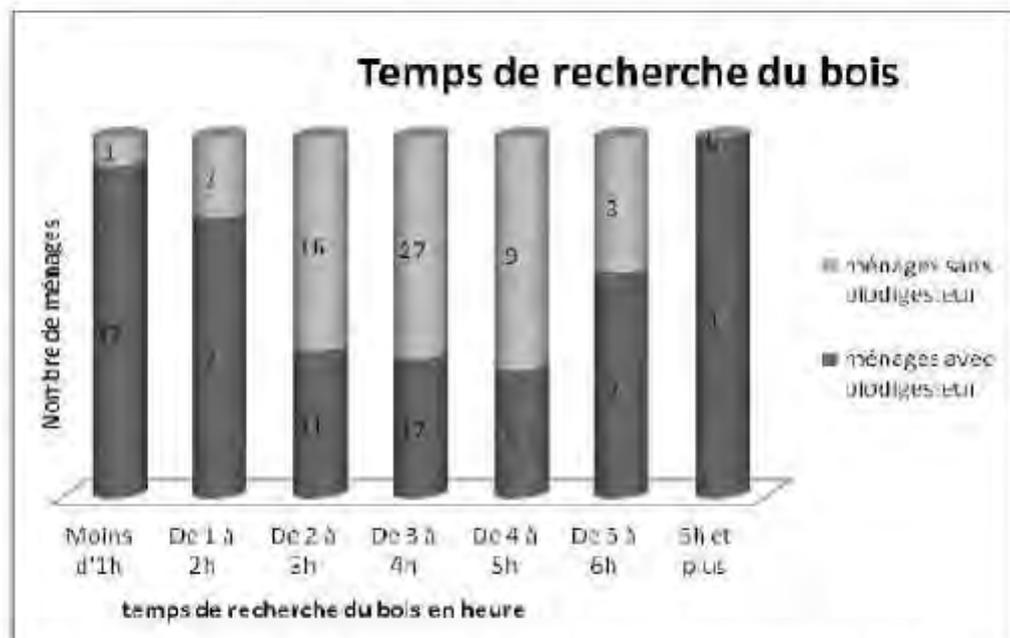


Figure 3 : Temps destiné à la recherche de bois des ménages enquêtés de la Région de Kaolack.

Time for research wood of households surveyed in Kaolack Region

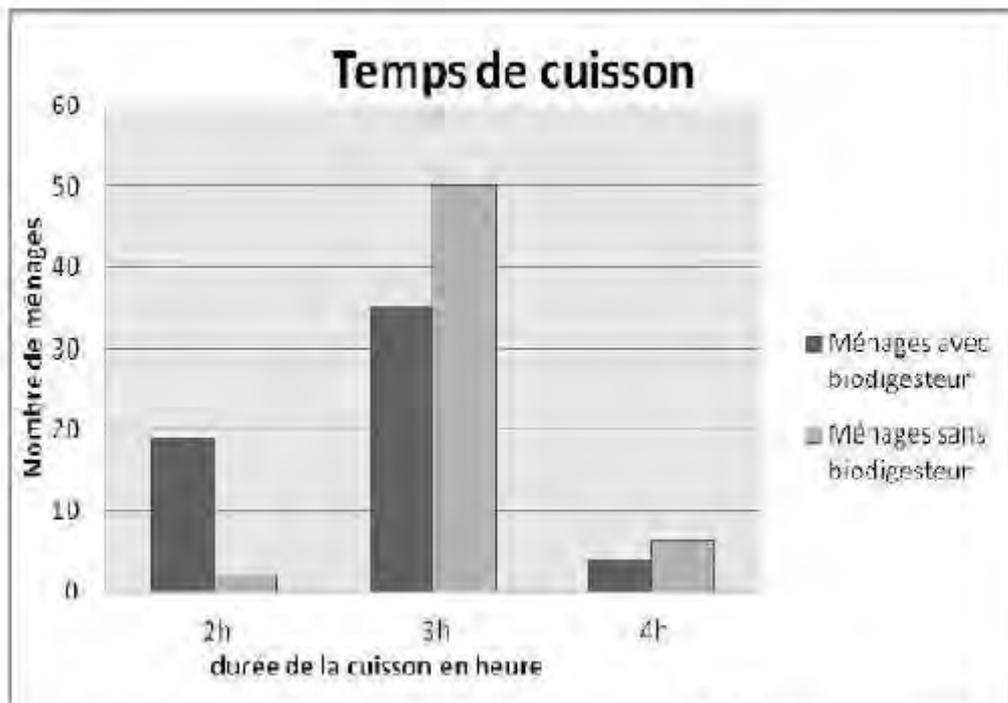


Figure 4 : Temps destiné à la cuisson des ménages enquêtés de la Région de Kaolack.
Time for cooking of households surveyed in the region of Kaolack

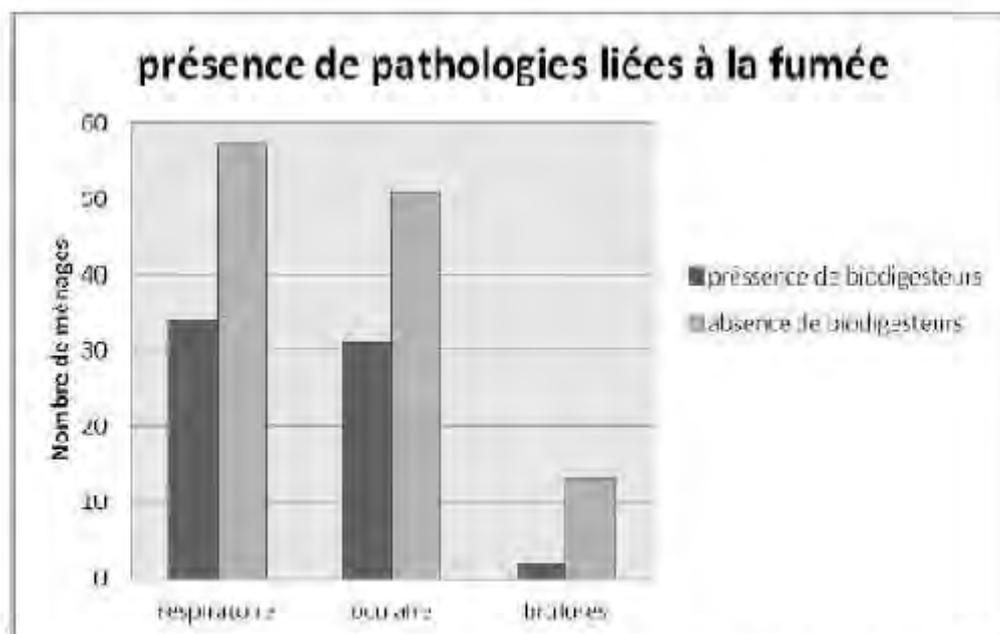


Figure 5 : Fréquence des pathologies des ménages enquêtés de la Région de Kaolack.
Households surveyed pathologies frequency of the Region of Kaolack.

DISCUSSION

Environ 50,20 % des ménages qui ont mis en place des unités de production de biogaz ont enregistré un certain succès. Les ménages qui ont rencontrés des difficultés sont essentiellement ceux pour qui, le fumier disponible est insuffisant pour le fonctionnement du biodigesteur ou ceux pour qui les unités de biogaz ont été mal construites. Souvent, il s'agit de paysans qui ne nourrissent le bétail à l'étable que le matin et le soir, les animaux étant conduits au pâturage le reste de la journée. De même, les producteurs dont les animaux étaient en transhumance, pendant la période des enquêtes avaient des difficultés pour bien faire fonctionner leurs biodigesteurs. Les ménages qui possédaient seulement un ou deux bovins ont également des problèmes pour réunir la quantité de fumier nécessaire au bon fonctionnement du biodigesteur, surtout lorsque la taille du ménage est assez importante. L'alimentation régulière du digesteur est également une tâche difficile pour certains ménages qui laissent ce travail aux femmes puisqu'elles sont les premières à bénéficier des résultats du biodigesteur. Ce serait plus facile si toute la famille était impliquée dans la gestion quotidienne de l'installation.

De façon générale, le biodigesteur est particulièrement apprécié dans les ménages fortement peuplés où le bois de chauffage constitue un problème majeur (Rao *et al.*, 2010). Il permet d'économiser le bois de chauffage et l'argent dépensé pour l'énergie. Les agropasteurs qui constituent la majorité de l'échantillon et qui ont adopté une approche intégrée de cultures et d'animaux dans leurs fermes connaissent plus de succès parce qu'ils utilisent le compost pour fertiliser leurs champs. Ceci augmente de manière significative la production car ce digestat peut servir comme un amendement agricole à cause de ses qualités fertilisantes vu sa teneur en Azote, Phosphore, Potassium, Calcium, etc (Sairi et

Abada, 2007). Ils économisent de l'argent qui aurait été par ailleurs utilisé pour acheter de l'engrais et du temps utilisé pour préparer le compost, car le purin n'a besoin d'aucun traitement avant utilisation.

Il a été démontré en Chine que la mise en œuvre des biodigesteurs peut provoquer une réduction de 40 % de l'utilisation du bois comme énergie de cuisson dans les familles de deux zones rurales de Chine (Peidong *et al.*, 2009). Cette réduction de la consommation de bois est due à l'utilisation du biogaz. Ce résultat est semblable à la réduction de 44 % de la consommation de bois obtenue dans les fermes laitières kényanes avec biodigesteurs (Lichoo *et al.*, 2013). Cette présente étude permet aussi de constater des résultats similaires avec des réductions de 42,05 % des dépenses sur l'achat de bois et de charbon.

Avoir un biodigesteur dans un ménage est également associé à des gains significatifs de temps consacré à la collecte du bois de feu, à la cuisson (Akinbami *et al.*, 2001). Mais aussi à des réductions des pathologies surtout respiratoires, oculaires et des cas de brûlures comme en attestent les résultats d'une étude sur les opportunités et défis de la production de bioénergie dans les pays en développement (Surendra *et al.*, 2013). De même, une étude menée au Népal a fait ressortir que le biogaz peut avoir des avantages importants pour la santé (Farouq et Hamood, 2012). Sur 42 répondants d'une enquête menée en 2000 auprès d'utilisateurs de biogaz qui avaient des problèmes respiratoires dans le passé, il a été signalé que le problème s'est amélioré pour 34 d'entre eux (Acharya *et al.*, 2005).

Cependant, les détenteurs de biodigesteurs rencontrent des difficultés liées à l'entretien et à la maintenance de ceux-ci. Des pannes sont souvent notées et les utilisateurs ne disposent pas de technologie pour la réparation et le Programme National Biogaz n'est pas toujours disponible pour aider les bénéficiaires dans l'entretien et la réparation.

CONCLUSION

Cette étude fournit des preuves d'amélioration vers moins de dépendance vis-à-vis du bois comme combustible et une meilleure qualité des conditions de vie en milieu rural plus particulièrement pour les femmes qui se chargent de la recherche du bois et des tâches de cuisson. Les exploitations ayant des biodigesteurs signalent également des améliorations dans la production agricole grâce à l'utilisation d'engrais et la réduction de la quantité de fumée de bois à laquelle elles sont exposées.

En raison de l'importance croissante accordée à l'utilisation durable des ressources naturelles, les biodigesteurs devraient être considérés sous un angle beaucoup plus large, particulièrement le rôle potentiel qu'ils jouent dans le recyclage des éléments fertilisants et qui réduit la dépendance des engrais minéraux et facilite donc la pratique de l'agriculture biologique. Nos résultats mettent en évidence la diversité des avantages créés par cette technologie et fournissent une justification pour une enquête plus approfondie sur les impacts réels de l'utilisation des biodigesteurs dans les exploitations laitières, mais aussi l'adaptation de cette technologie à des stérilisateurs, des réfrigérateurs pour faciliter la transformation et la conservation du lait à la ferme.

REFERENCES

- ANSD. 2011. Situation Économique et sociale du Sénégal 2010. Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie, 356 p.
- ANSD. 2014. Recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage, 26 p.
- Acharya J., Bajgain M. S., Subedi M. P. S. 2006. Scaling up biogas in Nepal : what else is needed ? *Bull. Point* 50, 1 - 4.
- Akinwami, J. F., Iori M. O., Oyejide T. O., Akinwami, Adedotun O. 2001. Biogas energy use in Nigeria : current status, future prospects and policy implications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 5, 97 - 112.
- Amigun B., Biotnitz H. von. 2007. Investigation of scale economies for African biogas installations. *Energy Convers. Manag.* 48, 3090 - 3094.
- Bruce N., Perez-Padilla R., Albalak R. 2002. The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries. Geneva World Health Organ. 11, 41 p.
- Dincer I. 1999. Environmental impacts of energy. *Energy Policy* 27, 846 - 854.
- Dulloo C., VanLeeuwen J., Read Guernsey J., Crichtley K., Gibson M. 2013. Impact of biogas digesters on wood utilisation and self-reported back pain for women living on rural Kenyan smallholder dairy farms. *Glob. Public Health* 8, 221 - 235.
- Farouq, N., Hameed S. 2012. Effective Use of Technology to Convert Waste into Renewable Energy Source. *Life Sci. J* 9.
- Masse D. I., Tilot G., Gilbert Y. 2011. On farm biogas production - A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166 - 167, 436 - 445.
- Peldong Z., Yanli Y., Jin S., Yonghong Z., Lisheng, W., Xinrong L. 2009. Opportunities and challenges for renewable energy policy in China. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13, 439 - 449.
- Rao P. V., Daral S. S., Dey R., Mutnuri G. 2010. Biogas generation potential by anaerobic digestion for sustainable energy development in India. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 2086 - 2094.
- Saidi A., Abada B. 2007. La biométhanisation : une solution pour un développement durable. *Rev. Energ. Renouvelables*, 31 - 36.
- Surendra K. C., Jakara D., Jasinski J., Kumar Khanal S. 2010. Household anaerobic digester for bioenergy production in developing countries : opportunities and challenges. *Environ. Technol.* 34, 1671 - 1680.

Poster présenté à l'occasion de la 4^{ème} édition de la Semaine Scientifique Agricole de l'Afrique de l'Ouest et du Centre (SSA-AOC) les 16 et 17 juin 2014 à Niamey



UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
 ECOLE DOCTORALE
 Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement
 'ED-SEV'



Avantages des biodigesteurs sur le bois de chauffe dans les élevages laitiers à Kaolack

DIOP Fatma Thioub^{a*}, DIENG Khadijatou^a, WANE Abdrahmane^b, SOW Adama^a, MIGUIRI Kalandi^a, SAWADOGO Germain Jérôme^a.

^a Ecole Inter-états des Sciences et Médecine Vétérinaires (EISMV) BP 5077 Dakar - Sénégal

* Téléphone : 00221775418706 ; email : diopthioub@yahoo.fr

^b UMR SELMET CIRAD- ISRA/LNERV - BP 2057 - Dakar-Hann Sénégal

1. Introduction : Le déficit énergétique en milieu rural est une contrainte pour l'épanouissement des ménages notamment, pour l'énergie de cuisson. Les femmes utilisent le bois de chauffe pour les différents besoins énergétiques de la cuisson dont la pasteurisation du lait. Avec la déforestation, elles ont de plus en plus de difficultés pour assurer les besoins journaliers en combustible.

Ainsi, pour résoudre les difficultés d'accès au bois de chauffe, une source d'énergie innovante a été mise au point avec l'installation de biodigesteur pour permettre aux ménages ruraux d'avoir du biogaz pour la cuisson. Le biodigesteur est une innovation technologique qui produit du biogaz à partir d'un processus de fermentation anaérobie de la bouse de vaches dans une cuve souterraine (figure 1).

Objectif : quantifier les avantages de l'utilisation des biodigesteurs dans les élevages laitiers de Kaolack par rapport à l'utilisation du bois.



Figure 1: Production et utilisation du biogaz

2. Méthodes de recherche : L'étude a été menée dans la région de Kaolack (figure 2) auprès de 116 ménages dont 58 disposent de biodigesteurs contre 58 autres qui n'en détiennent pas. Ces ménages sont répartis dans 39 villages des 03 Départements de la région de Kaolack (Kaolack : 21, Guinguinéo : 02 et Nioro : 16).

Les données collectées ont été saisies et traitées avec le logiciel SPSS 20. Des paramètres de statistiques descriptives ont été calculés afin de caractériser les ménages visités. Des tests d'égalité de moyennes ont été réalisés pour comparer les dépenses moyennes en combustibles et en engrais entre les deux catégories de ménages.



Figure 2: Zone de l'étude (Région de Kaolack)

5. Impacts socio-économiques

- Valorisation du fumier issu des élevages bovins
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Gain de temps pour les femmes
- Réduction des pathologies surtout respiratoires et oculaires
- Réduction de la déforestation
- Réduction des dépenses pour l'achat de combustible et de compost.

3. Résultats: Les résultats obtenus montrent que les ménages ayant un biodigesteur avaient plus de temps pour se consacrer à des activités génératrices de revenus ou pour le bien être de la famille. Un tiers des ménages (32,75%) mettent moins de 2h par jour pour la recherche du bois (figures 3) et 2h pour la cuisson d'un repas contre, 67,25% sans biodigesteurs qui consacraient 2 à 6h par jour et plus de 3h pour la cuisson d'un repas (figures 4).

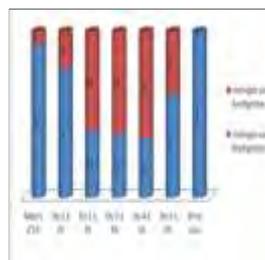


Figure 3: Temps de recherche du bois

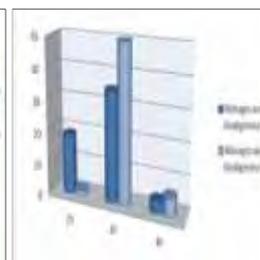


Figure 4: Temps de cuisson

Plus du quart (25,86%) des ménages qui ont le biodigesteur utilisaient le biogaz comme source d'éclairage. 36,20% préparent les repas et pasteurisent le lait avec le biogaz. Il a été constaté une réduction de la fréquence des pathologies respiratoires et oculaires de même que les dépenses pour l'achat de combustible et de compost (figures 5).

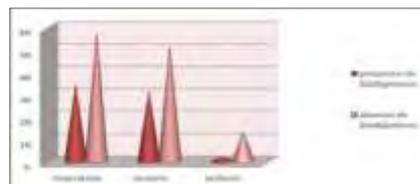


Figure 5: Présence de pathologies liées à la fumée

Les ménages sans biodigesteurs dépensaient en moyenne 3150 FCFA par mois pour l'achat de bois et de charbon contre 1350 FCFA pour les ménages utilisateurs du biodigesteur. L'utilisation du compost issu des biodigesteurs permettait de réduire l'utilisation de l'engrais chimique, 23105 FCFA contre 58845 FCFA par hectare pour les détenteurs et non détenteurs de biodigesteurs respectivement.

4. Conclusion: Le biodigesteur qui est une innovation dans les exploitations productrices de lait de la région de Kaolack, a apporté un changement considérable dans le mode de vie des familles et a participé à la réduction des effets négatifs de l'utilisation du bois comme source d'énergie.

6. Retombées scientifiques

Cette étude permet de développer une méthodologie d'analyse d'un processus d'innovation en cours dans la zone de l'étude et d'autres localités

Mots-clefs : Biogaz, bois de chauffe, élevages laitiers, économie des ménages, Kaolack

Annexe 2 : répartition des villages enquêtés par communauté rurale et par département

Département	Communauté rurale	Villages
Kaolack	Ndiaffate	Koutal
	Ndiédieng	Talène
		Affé
		Ndiédieng
		Ndiobéne Talène
	Kahone	Kahone
		Bankoumane
		Farabougoune
	Latmingué	Latmingué
		Thiavandou
		Saré galo
		Keur Délo
	Khelcom Birane	Ndoubor
		Keur Ngane Alassane
		Saté Waly
	Dya	Ngonsy
Sobe II		
Sobe I		
Dya		
Sibassor		
Guinguinéo	Guinguinéo	Guinguinéo
		quartier kanéne
Nioro	Paoskoto	Porokhane
		Touba Niane
		Paoskoto
	Wack Ngouna	Touba Peulh
		Keur Mahmoud
		Samboumba
		keur Touba Peulh
		Keur Madiabel
	Médina Sabakh	Wack Ngouna
		Diaglé Thioyéne
		Taïf
	Ndrané escale	Thiaméne
		Keur Baka Awa
	Porokhane	Nianguéne Malobé
		Diaglé
Taïba Niassène	Taïba Niassène	

Annexe 3 : Questionnaire d'enquête

Analyse socio-économique et environnementale de l'utilisation de biodigesteurs

27 Juillet au 28 Août 2013 - FISMV & AMPROLATT

Cette étude vise à mesurer la plus-value socioéconomique et environnemental du projet AMPROLATT à travers l'installation de biodigesteurs dans les élevages laitiers de Kaolack.

N°.....

Identification de la localité

1. Région

2. Département

3. Communauté rurale

4. Village

5. Coordonnées GPS

6. Nom du chef d'exploitation

7. Sexe

1. H 2. F

8. Age de l'exploitant

1. 20-35 2. 35-50 3. 50 et plus

9. Quelle est votre situation matrimoniale?

1. Marié(e) 2. Célibataire 3. Divorcé(e)
 4. Veuf(ve)

10. Avez-vous fréquenté l'école?

1. Oui 2. Non

11. Si 'oui', précisez :

1. école coranique 2. école française
 3. alphabétisation 4. autres

12. Donnez le nombre

d'année d'études

13. Avez-vous déjà bénéficié de formation en élevage?

1. OUI 2. Non

14. Si 'Oui', précisez la

durée:

15. Quelle est le statu de votre activité?

1. Salariée 2. Libérale 3. Aucune

16. Quelle est la superficie de votre concession?

m²

17. Quel est le statu d'occupation de votre concession?

1. Propriétaire 2. Locataire
 3. Logé gratuitement

18. Quelle est le nombre de ménages?

19. Quelle est la taille du ménage de l'exploitation?

20. Quelles sont les activités menées dans l'exploitation?

Structure de l'exploitation

21. Est-ce que vous bénéficiez de l'installation de biodigesteur dans l'exploitation?

1. Oui 2. Non

22. Permet-il l'éclairage de la concession?

1. Oui 2. Non

23. L'énergie produite par le biodigester permet-elle d'améliorer la conservation du lait?
 1. Oui 2. Non

24. Le biodigester vous fournit-il de l'énergie pour la cuisson?
 1. Oui 2. Non

25. Disposez-vous d'une autre source d'énergie?
 1. Oui 2. Non

26. Si 'Oui', précisez :
 1. Gaz butane 2. énergie solaire
 3. électricité 4. charbon de bois
 5. bois de chauffage

possibilité de cocher plusieurs cases

27. A quel fin l'utilisez-vous?

28. Combien de tête de bovins possédez-vous?

29. Combien de veaux et velle avez-vous?

30. Combien de taureau avez-vous?

31. Combien de vache avez vous?

32. Existe-t-il de races exotiques?
 1. oui 2. non

Volet environnemental

42. Au bout de combien de temps le biodigester est il vidé?

43. Que faites-vous du compost issu du biodigester?
 1. Utilisation personnelle 2. verre 3. don
 4. Autres

44. Si 'Autres', précisez :

45. Est ce que la fumure issue du biodigester améliore mieux la qualité du sol?
 1. Oui 2. Non

33. Si 'oui', précisez le nombre:

34. Autres espèces présentes dans l'exploitation
 1. ovin 2. caprin
vous pouvez cocher plus d'une case.

35. quelle est leur nombre?

36. Combien de personnes travaillent au niveau de votre ferme?

37. Quelle est le lien de parenté?
 1. Membre de la famille 2. Emnger

38. Disposez-vous d'un cahier recette/dépense?
 1. oui 2. non

39. Est ce que vous utilisez des produits de complémentation?
 1. Oui 2. Non

40. Si 'Oui', quels sont les produits de complémentation :

41. D'où proviennent ces produits de complémentation?
 1. Culture 2. Achat 3. Don 4. Autres
Possibilité de cocher plusieurs cases

46. Notez-vous des différences de dégratation entre le fumier brut et celui issu du biodigester?

47. Lequel des deux fumiers donne un meilleur rendement?
 1. fumier brut 2. fumier biodigester

48. Y'a-t-il eu des changement au niveau de la végétation?
 1. Oui 2. Non

49. Si 'Oui', quels sont les espèces qui ont disparues?

50. Quelles sont les raisons de la disparition?

51. Quelles espèces sont les plus utiles pour?

- 1. Bois de feu
- 2. bois d'oeuvre
- 3. fourrage
- 4. maintien de la fertilité du sol

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

52. a quelles fins est utilisé le bois principalement?

Charge de l'exploitation

53. Est-ce que ces personnes sont rémunérées?

- 1 oui 2 non

54. Si 'oui', donnez la masse salariale par mois ou par an :
FCFA

55. A combien estimez-vous les frais d'abreuvement?
en FCFA

56. A combien estimez vous vos dépenses en soins vétérinaires par an?
En FCFA

57. Combien dépensez vous pour l'achat d'aliment/jour pendant la saison sèche?
FCFA

58. Combien dépensez-vous l'achat d'aliment/jour pendant la saison des pluies?
FCFA

59. Quel est le coût du transport?
en FCFA

60. Combien dépensez-vous pour l'électricité?
FCFA

61. Quelle est la source de financement du biodigester?

1. Fonds propre 2. bailleurs 3. prêt
 4. autres

62. Si 'autres', précisez :

63. Quelle est le coût d'acquisition du biodigester?
FCFA

64. Si vous disposez de bio digester, à combien évaluez-vous son entretien?
FCFA

65. Combien dépensez-vous pour autres sources de combustible?
FCFA

66. Combien dépensez-vous pour l'achat du bois ou du charbon utilisé pour la cuisson?
FCFA

67. Si vous avez d'autres dépenses sur l'exploitation, quel en est le montant?
FCFA

68. Si vous avez sollicité un crédit, quel est le montant?
FCFA

69. Quelle est la durée de l'emprunt? _____
année

70. Quel est le taux d'intérêt? _____

71. Est ce que vous épargnez de l'argent?
 1 Oui 2 Non

72. Si 'Oui', précisez la structure :
 1. tontine 2. mutuelle 3. banque
 4. autres(préciser)

Produits de l'exploitation

73. Quelle est la quantité de lait traité/jour pendant l'hivernage?
_____ litres

74. Quelle est la quantité de lait traité/jour en saison sèche?
_____ litres

75. Quelle est la quantité de lait autoconsommée?
_____ litres

76. Quelle est la quantité de lait vendue?
_____ litres

77. Quel est le prix du litre de lait?
_____ FCFA

78. Quelle est la quantité de fumier produite par jour ou semaine?
_____ km

79. Quel est le prix du fumier vendu à l'état brut?
_____ FCFA

80. Quelle est la quantité de fumier traitée?

81. Quel est le prix de vente du compost?
_____ FCFA

82. Quelle est la quantité de biogaz produite par jour, semaine ou mois?
_____ m³

83. Quel temps mettiez-vous pour la recherche du bois utilisé dans la concession?

Annexe 4 : Guide d'entretien

Effet de l'installation des biodigesteurs sur le travail et la santé des femmes et des enfants

N°..... Période: 22 au 28 Août 2013 Région: Koulack

84. Région1

85. Département1

86. Communauté rurale1

87. Village1

88. Coordonnées GPS

89. Nom du chef d'exploitation1

90. sexe1

1. H 2. F

91. Age de l'exploitant

1. 20-33 2. 33-50 3. 50 et plus

92. Quelle est votre situation matrimoniale?

1. Marié(e) 2. Célibataire 3. Divorcé(e)
 4. Veuf(ve)

93. Quelle est la taille du ménage?

94. Avez vous fréquenté l'école?

1. Oui 2. Non

95. Si 'oui', précisez :

1. école communale 2. école française
 3. alphabétisation 4. autres

96. Donnez le nombre d'année d'études

97. Avez-vous déjà bénéficié de formation en élevage?

1. oui 2. Non

98. Si 'Oui', précisez la durée:

99. Quel type de combustibles utilisez-vous?

1. Bois de feu 2. Charbon de bois
 3. Gaz butane 4. Biogaz
 5. Bourses de vaches

100. Si vous utilisez du bois, quel temps mettiez vous pour sa recherche?

101. Si vous utilisez le bois, quel en est le coût journalier?

FCFA

102. Combien de temps dure la cuisson avec le bois?

103. Si vous utilisez le gaz butane, quel est la durée de la bouteille?

104. A combien l'achetez vous?

FCFA

105. Quelles sont les dépenses énergétiques liées à la cuisson des repas par jour ou par mois?

FCFA

106. Si le biogaz est utilisé, depuis combien de temps est-il utilisé?

année ou mois

107. Pourquoi?

108. Pendant combien d'heure le biogaz est utilisé dans la jour

heures

109. Quel combustible était utilisé avant?

110. Où et comment vous approvisionnez-vous?

111. Quelle distance sépare le lieu d'approvisionnement et votre concession?

km

112. A combien s'élèvent les frais d'approvisionnement?

FCFA

113. A combien s'élève la dépense ménagère quotidienne ou mensuelle?

FCFA

114. Quelles sont vos conditions de cuisson?

1. cuisine fermée
 2. Cuisine moyennement aérée
 3. Cuisine fermée et bien aérée
 4. Cuisine à l'air libre

115. Comment appréciez vous les équipements de cuisson avec l'utilisation du gaz?

116. Comment appréciez-vous les équipements de cuisson avec autres combustibles

117. Quel types de pathologie rencontrez-vous avec l'utilisation d'un combustible autre que le gaz?

1. respiratoire 2. oculaire 3. cutanée
 4. brûlures 5. Autres

possibilité de cocher plusieurs cases

118. Quelles sont les pathologies rencontrées chez les enfants?

119. Ya-t-il amélioration de l'état de santé de la famille?

1. Oui 2. Non

120. Si oui comment?

121. Quels sont les intérêts de l'utilisation du biogaz?

122. L'utilisation de gaz permet-il de gagner du temps?

1. Oui 2. Non

123. Si 'oui', comment? ;

124. Si des changements ont été constatés, quels sont-ils?

Annexe 5 : Questionnaire d'enquête impact

Analyse socio-économique et environnementale de l'utilisation des biodigesteurs dans les exploitations productrices de lait de la région de Kaolack

*EISMV & AMPROLAIT
03février au 07 février 2014*

Cette étude vise à mesurer les impacts et une analyse des causes des pratiques des différents types d'exploitations obtenus à partir de l'étude préliminaire menée au niveau des exploitations utilisatrices de biodigesteurs dans les élevages laitiers de Kaolack.

Région :.....

Département :.....

Communauté rurale :.....

Village :.....

Nom de l'exploitant :.....

Age :.....

Sexe :.....

Superficie concession :.....

Nombre total d'animaux :.....

Comment avez-vous été amené à installer le biodigesteur?.....

.....

Pourquoi ?.....

.....

L'avez-vous choisi librement ?.....

.....

Avez-vous été conseillé ?.....

Comment s'est porté votre « choix » sur le biodigesteur ?.....

Les animaux sont-ils dans la concession ?.....

Combien d'animaux sont utilisés pour alimenter le biodigesteur ?.....

.....

Quelles difficultés rencontrez-vous avec le biodigesteur ?.....

.....

Quelle importance a le biodigesteur dans la concession ?.....

.....
.....

Quels produits vous fournit le biodigesteur ?.....

.....

Quelles perspectives de développement avez-vous ?.....

.....

.....

Quels sont les changements observés (voulus ou pas) depuis l'installation du biodigesteur ?.....

.....

Identifier l'ensemble des investissements réalisés pour l'installation du biodigesteur.....

.....

.....

L'énergie produite par le biodigesteur permet-elle d'améliorer la conservation du lait?.....

Si oui, comment ?.....

.....

Est-ce que vous utiliser le biodigesteur ?.....

Si non, Pourquoi ?.....

.....

.....

Evaluation d'impact économique, environnemental, social

Selon vous, quel a été l'impact du BD sur ?	<<Impact négatif					impact nul 0	Impact positif>>					
	-5	-4	-3	-2	-1		1	2	3	4	5	
Impact économique												
Réduction des dépenses en énergie pour la cuisson des repas du ménage												
Réduction des dépenses en engrais minéraux de l'exploitation agricole												
Réduction des dépenses en énergie pour l'éclairage du ménage												
Impact Environnemental												
Réduction de la déforestation dans l'air de collecte de bois habituel												
Amélioration de la fertilité des sols où l'on applique les boues du BD												
Impact social												
Amélioration du confort de vie du ménage												
Réduction des pathologies respiratoires des cuisinières												
Libération de temps pour des activités sociale grâce à la réduction des corvées de collecte												

Annexe 6 : Fiche de notation des impacts

IMPACT ECONOMIQUE

CRITERES		POINTAGE	Critères négatifs	Pointage
Réduction des dépenses en énergie pour la cuisson des repas du ménage	S'il n'ya pas de changements pour les dépenses énergétiques pour la cuisson, l'éclairage et pour les dépenses en engrais minéraux	0	S'il n'ya pas de changements pour les dépenses énergétiques pour la cuisson, l'éclairage et pour les dépenses en engrais minéraux	0
Réduction des dépenses en engrais minéraux de l'exploitation	Si les dépenses sont réduites à – de 25%	1	Si les dépenses ont augmenté de – de 25%	-1
Réduction des dépenses en énergie pour l'éclairage du ménage	Si les dépenses sont réduites à 25%	2	Si les dépenses ont augmenté de 25%	-2
	Si les dépenses sont réduites de 50	3	Si les dépenses ont augmenté de 50%	-3
	Si les dépenses sont réduites de 75%	4	Si les dépenses ont augmenté de 75%	-4
	Si les dépenses sont réduites de plus de 75%	5	Si les dépenses ont augmenté de plus de 75%	-5

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

CRITERES		POINTAGE	Critères négatifs	Pointage
Réduction de la déforestation dans l'aire de collecte de bois habituel	S'il n'y a pas de changement sur la collecte du bois	0	S'il n'y a pas de changement sur la collecte du bois	0
	Si la collecte de bois a réduit de – de 25%	1	Si la collecte de bois a augmenté de – de 25%	-1
	Si la collecte de bois a réduit de plus de 25%	2	Si la collecte de bois a augmenté de + de 25%	-2
	Si la collecte de bois a réduit de plus de 50%	3	Si la collecte de bois a augmenté de + de 50%	-3
	Si la collecte de bois a réduit de 75%	4	Si la collecte de bois a augmenté de 75%	-4
	Si la collecte de bois a réduit de plus de 75%	5	Si la collecte de bois a augmenté de + de 75%	-5
Amélioration de la fertilité des sols où l'on applique le digestat du biodigesteur	Si le digestat n'a aucune influence sur le rendement des cultures	0	Si le digestat n'a aucune influence sur le rendement des cultures	0
	Si le rendement des cultures a augmenté de – de 25%	1	Si le rendement des cultures a diminué de – de 25%	-1
	Si le rendement des cultures a augmenté de 25%	2	Si le rendement des cultures a diminué de 25%	-2
	Si le rendement des cultures a augmenté de plus de 50%	3	Si le rendement des cultures a diminué de plus de 50%	-3
	Si le rendement des cultures a augmenté de 75%	4	Si le rendement des cultures a diminué de 75%	-4
	Si le rendement des cultures a augmenté de plus de 75%	5	Si le rendement des cultures a diminué de plus de 75%	-5

IMPACT SOCIAL

CRITERES		POINTAGE	Critères négatifs	Pointage
Amélioration du confort de vie du ménage	S'il n'y a pas de changement pour les tâches de la concession*	0	S'il n'y a pas de changement pour les tâches de la concession	0
	Les tâches de la concession sont réduites de – de 25%	1	Les tâches de la concession ont augmenté de – de 25%	-1
	Les tâches de la concession sont réduites de 25%	2	Les tâches de la concession ont augmenté de 25%	-2
	Les tâches de la concession sont réduites de 50%	3	Les tâches de la concession ont augmenté de 50%	-3
	Les tâches de la concession sont réduites de 75%	4	Les tâches de la concession ont augmenté de 75%	-4
	Les tâches de la concession sont réduites de + de 75%	5	Les tâches de la concession sont réduites de + de 75%	-5
Réduction des pathologies respiratoires et oculaires des cuisinières	Il n'y a pas de réduction des pathologies	0	Il n'y a pas de réduction des pathologies	0
	Les pathologies sont réduites de – de 25%	1	Les pathologies ont augmenté de – de 25%	-1
	Les pathologies sont réduites de 25%	2	Les pathologies ont augmenté de 25%	-2
	Les pathologies sont réduites de 50%	3	Les pathologies ont augmenté de 50%	-3
	Les pathologies sont réduites de 75%	4	Les pathologies ont augmenté de 75%	-4
	Les pathologies sont réduites de + de 75%	5	Les pathologies ont augmenté de + de 75%	-5
Libération de temps pour des activités sociales grâce à la réduction des corvées de collecte	Il n'y a pas de gain de temps	0	Il n'y a pas de gain de temps	0
	Il y a un gain de temps de – de 25%	1	Il y a une perte de temps de – de 25%	-1
	Il y a un gain de temps de 25%	2	Il y a une perte de temps de 25%	-2
	Il y a un gain de temps de 50%	3	Il y a une perte de temps de 50%	-3
	Il y a un gain de temps de 75%	4	Il y a une perte de temps de 75%	-4
	Il y a un gain de temps de + de 75%	5	Il y a une perte de temps de + de 75%	-5

*Les tâches de la concession concernent le temps de cuisson et le ramassage et l'alimentation du biodigesteur

Annexe 7 : Photos



Visite de biodigester à Kaolack



Visite d'un champ fertilisé avec le digestat



Visite d'une transformatrice de lait utilisant le biogaz
Pour la paturisation

Résumé

L'objet de notre thèse est d'analyser sur les plans socioéconomique et environnemental, l'impact de l'utilisation des biodigesteurs dans les petits élevages producteurs de lait de la région de Kaolack au Sénégal. Pour cela, une enquête auprès de 116 ménages dont 58 détenteurs de biodigesteurs a permis d'étudier les différents aspects de l'utilisation du biodigesteur et les différents impacts permettant de juger de l'apport de cette innovation dans les conditions de vie des populations. Les résultats montrent que les ménages possédant un biodigesteur avaient plus de temps pour se consacrer à des activités rémunératrices ou pour le bien être de la famille. Plus du quart (25,86%) des ménages avec biodigesteurs utilisent le biogaz comme source d'éclairage. De même, 36,20% préparent les repas et pasteurisent le lait avec le biogaz avec une réduction de la fréquence des pathologies respiratoires et oculaires mais aussi des dépenses pour l'achat de combustible et de compost. L'analyse factorielle des correspondances multiples a permis d'identifier 4 types de ménages détenteurs de biodigesteurs et une régression logistique a aussi permis de trouver les facteurs qui caractérisent les ménages pastoraux ayant adopté l'innovation par rapport aux autres qui ne l'ont pas adopté. Les facteurs d'adoption des biodigesteurs sont plutôt économiques que structurels, institutionnels ou sociotechniques. L'enseignement majeur de ce travail est que l'intégration du biodigesteur dans le système de production permet de mieux valoriser les effluents d'élevage et que l'innovation n'est pas neutre et peut conduire à des changements de pratiques et d'activités.

Socio-economic and environmental analysis of the use of biodigesters in small dairy farms of Kaolack in Senegal

Summary

The purpose of our thesis is to analyze the socio economic and environmental planning, the impact of the use of biodigesters in small farms producing milk Kaolack region of Senegal. For this, a survey of 116 households including 58 holders of biodigesters was used to study the various aspects of the use of the biodigester and the different impacts for judging the contribution of this innovation in the living conditions of populations. The results show that households with a biodigester had more time to devote to income-generating activities or for the well being of the family. More than a quarter (25.86%) of households with biodigesters use biogas as a source of lighting. Similarly, 36.20% prepare food and pasteurize milk with biogas with a reduction in the frequency of respiratory and eye diseases as well as expenditures for the purchase of fuel and compost. The multiple correspondence factor analysis identified four types of household biodigesters holders and logistic regression was also possible to find the factors which characterize the pastoral households have adopted the innovation compared to others who have not adopted. Factors adoption biodigesters are economic rather than structural, institutional and socio-technical. The major lesson of this study is that the integration of the biodigester in the production system allows the recovery of the manure and that innovation is not neutral and can lead to changes in practices and activities.

Discipline : Productions et Biotechnologies animales

MOTS-CLES : Méthanisation - Adoption de l'innovation - Ménages pastoraux - Biodigester - Elevages laitiers - Economie des ménages - Kaolack – Sénégal
